



TESIS - TF142520

STUDI DAN PEMODELAN PENYEDIAAN ENERGI DI PULAU MOTI KOTA TERNATE BERBASIS ENERGI TERBARUKAN

BAHRUD KAHAR
NRP. 2413202002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ridho Hantoro, ST, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - TF142520

STUDY AND MODELING OF ENERGY SUPPLY AT MOTI ISLAND-TERNATE BASED ON RENEWABLE ENERGY

BAHRUD KAHAR
NRP. 2413202002

SUPERVISOR
Dr. Ridho Hantoro, ST, MT.

MASTER PROGRAM
RENEWABLE ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

oleh :

BAHRUD KAHAR

NRP. 2413 202 002

Tanggal Ujian : 11 Januari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh :

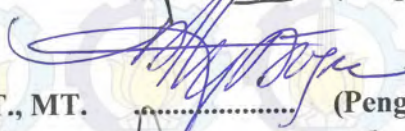
1. Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.
NIP. 19761223 200501 1 001


..... (Pembimbing)

2. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.
NIP. 19660116 198903 2 001


..... (Penguji)

3. Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT.
NIP. 19740903 199802 2 001



..... (Penguji)

4. Dr. Gunawan Nugroho, ST., MT.
NIP. 19771127 200212 1 002


..... (Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

STUDI DAN PEMODELAN PENYEDIAAN ENERGI DI PULAU MOTI KOTA TERNATE BERBASIS ENERGI TERBARUKAN

Nama Mahasiswa : Bahrud Kahar
NRP : 2413 202 002
Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, ST, MT.

ABSTRAK

Sampai saat ini di provinsi Maluku Utara khususnya dalam wilayah Kota Ternate karena kondisi geografis, elektrifikasi bagi pulau-pulau di luar Pulau Ternate menjadi tidak merata dan belum dapat memenuhi kebutuhan listrik secara keseluruhan. Seperti halnya Pulau Moti sebagai salah satu kecamatan di Kota Ternate, pengoperasian generator diesel hanya sebatas pada malam hari yaitu jam 18:30 – 23:00 WIT atau 4,5 jam/hari. Selain tingginya biaya operasional generator diesel terutama biaya bahan bakarnya juga faktor ketersediaan dan mahalanya suku cadang menjadi persoalan utama dari pengoperasian generator diesel tersebut. Studi ini mengusulkan model konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida (PLH) di Pulau Moti antara generator diesel dan energi terbarukan sebagai solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik 24 jam, karena Pulau Moti memiliki potensi energi radiasi matahari rata-rata pertahun sebesar 5,96 kWh/m²/hari dan kecepatan angin rata-rata pertahun sebesar 3,8 m/s. Perhitungan potensi energi terbarukan yang potensial dan model konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal menggunakan *software HOMER (Hybrid Optimization Model for Energy Renewable)*. Hasil simulasi memberikan model konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal pilihan pertama yaitu: konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) dengan nilai NPC terendah sebesar US\$ 1.531.546 dan pemakaian bahan bakar per tahun lebih irit 47,1% dari pemakaian bahan bakar saat ini di Pulau Moti, dan konfigurasi alternatif pilihan kedua yaitu: konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) dengan nilai NPC sebesar US\$ 1.577.512 dan juga pemakaian bahan bakar per tahunnya lebih irit 64,3%.

Kata kunci : Potensi Energi, Pembangkit Listrik Hibrida, Pulau Moti.

STUDY AND MODELING OF ENERGY SUPPLY AT MOTI ISLAND-TERNATE BASED ON RENEWABLE ENERGY

By : Bahrud Kahar
Student Identity Number : 2413 202 002
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, ST, MT.

ABSTRACT

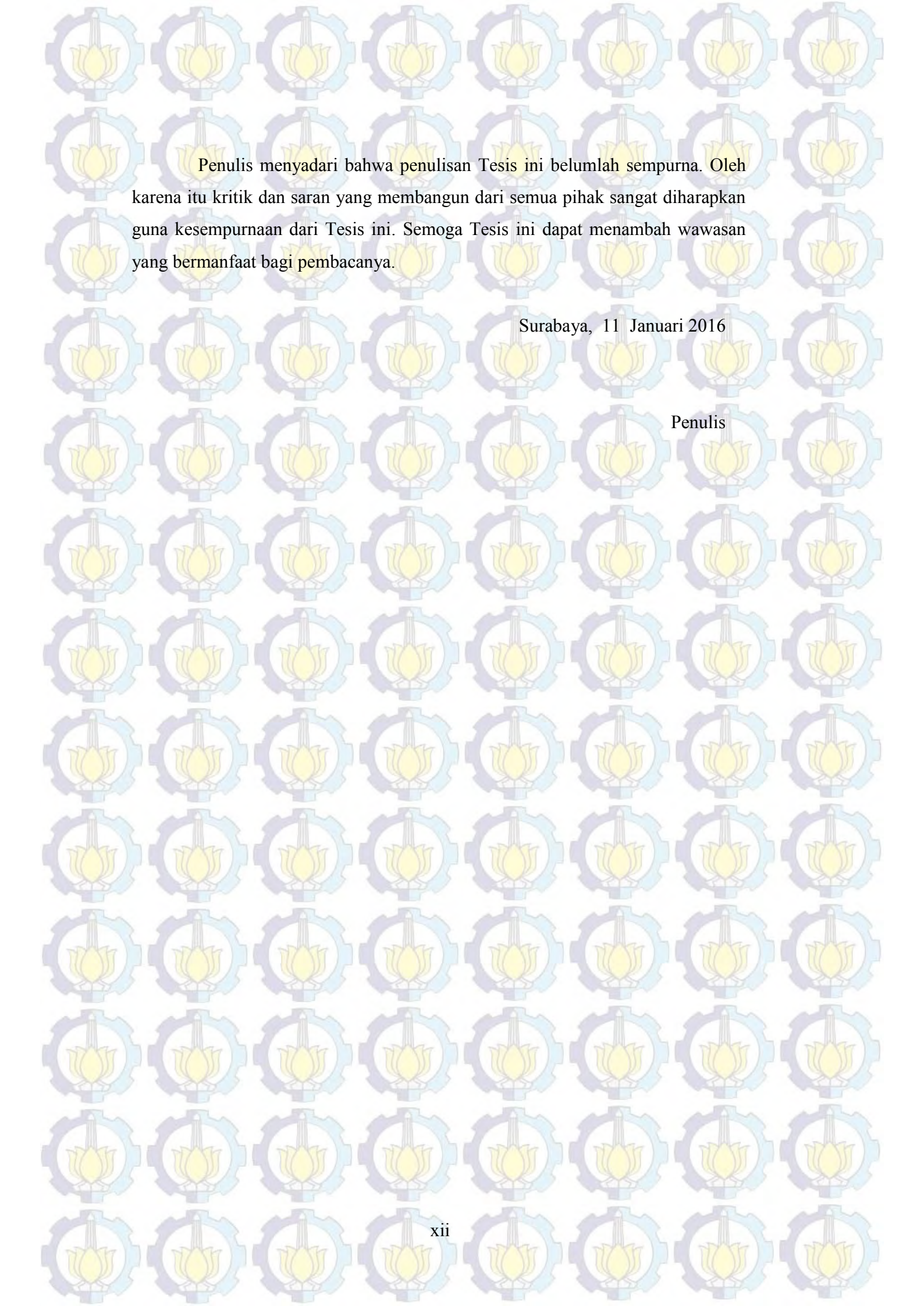
Until now in North Moluccas province, especially in the district of Ternate city due to geographical conditions, electrification for the islands outside of Ternate be uneven and can not meet the overall demand for electricity. As well as Moti Island is one of the sub-districts of Ternate city, the operation of diesel generators was limited at night which hours 18:30 to 23:00, or 4.5 hours/day. The main problem is the high operating cost of diesel generator, especially of the fuel cost, availability and the high cost of spare parts. This study proposes a configuration models of hybrid power generation system on the Moti island between diesel generators and renewable energy as a solution to meet the electricity needs for 24 hours, because the Moti island has a energy of annual average solar radiation of 5.96 kWh/m²/day and annual average wind speed of 3.8 m/s. Calculation and optimized for the potential of renewable energy and configurations models of hybrid power generation system using software HOMER (Hybrid Optimization Model for Renewable Energy). The simulation results provide a configuration models of the optimal hybrid power plant is the first option: PV (50%) + Diesel (50%) configuration, with the NPC lowest value is US \$ 1,531,546 and more efficient fuel consumption per year 47.1% of the fuel consumption on the moti island for this time, And the second option is an alternative configuration: PV (70%) + Diesel (30%) configuration, with a NPC value is US \$ 1,577,512 and also more has efficient fuel consumption per year 64.3%.

Keywords: Potential Energy, Hybrid Power Generation, Moti Island.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Studi dan Pemodelan Penyediaan Energi di Pulau Moti Kota Ternate Berbasis Energi Terbarukan”**. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI, ITS.
2. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT., selaku Ketua Prodi S2 Teknik Fisika.
3. Ibu Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT., selaku sekretaris Prodi S2 Teknik Fisika.
4. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT., selaku dosen wali dan dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan bimbingan, dukungan dan arahan semasa perkuliahan hingga dalam menyelesaikan Tesis ini.
5. Bapak/Ibu Dosen S2 yang telah membimbing dan Karyawan Jurusan Teknik Fisika yang telah banyak membantu penulis.
6. Bapak Hasan M. Matdoan, S.IP., selaku Camat Moti dan Bapak Djabid Kaidati, SP., selaku Sekretaris Camat, serta Lurah Sekecamatan Moti yang telah membantu penulis dalam penelitian.
7. Bapak Mansur dan Ibu Ramlia (*papa & mama piara*) di kelurahan Takofi atas segala bantuan yang telah di berikan kepada penulis dalam penelitian.
8. Istri tercinta Anisa Sangadji dan ananda tersayang Bintang Sulkan yang telah menemani penulis dengan sabar selama studi.
9. Ibunda tercinta Djaleha M. Nur dan Keluarga besar yang telah memberikan dukungan, nasehat dan semangat kepada penulis.
10. Sahabatku Wahyu Hendra, Giyanto (*Gareng*), dan Ronald K. Ketter, serta teman-teman S2 Teknik Fisika angkatan 2013, yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.



Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini belumlah sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan guna kesempurnaan dari Tesis ini. Semoga Tesis ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 11 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xxi |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat penelitian | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Keadan Umum Pulau Moti | 5 |
| 2.2 Peta Potensi Energi Angin dan Matahari di Indonesia | 9 |
| 2.3 Pembangkit Listrik Hibrida (PLH) | 11 |
| 2.2 Prinsip Kerja Sistem PLH PV/Wind/Diesel | 14 |
| 2.3 Perhitungan Energi dan Daya Listrik | 17 |
| 2.5 Homer | 20 |
| 2.6 Software Sistem Hibrida..... | 27 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 31 |
| 3.1 Alur Penelitian | 31 |
| 3.2 Pengambilan Data | 33 |
| 3.3 Pengolahan Data | 34 |

| | |
|--|-----|
| 3.4 Tahap Hasil dan Pembahasan..... | 40 |
| 3.5 Tahap Kesimpulan dan Saran..... | 40 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 41 |
| 4.1 Kondisi Kelistrikan Pulau Moti | 41 |
| 4.2 Profil Beban | 46 |
| 4.3 Potensi Energi Angin di Pulau Moti | 47 |
| 4.4 Potensi Energi Matahari di Pulau Moti..... | 52 |
| 4.5 Model Konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida di Pulau Moti | 56 |
| 4.6 Hasil Simulasi Sistem PLH..... | 61 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN..... | 83 |
| 5.1 Kesimpulan | 83 |
| 5.2 Saran..... | 84 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 85 |
| LAMPIRAN A | 91 |
| LAMPIRAN B..... | 95 |
| LAMPIRAN C..... | 97 |
| LAMPIRAN D | 99 |
| LAMPIRAN E..... | 101 |
| LAMPIRAN F | 111 |
| LAMPIRAN G | 117 |
| LAMPIRAN H | 119 |
| LAMPIRAN I..... | 121 |
| BIODATA PENULIS..... | 135 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Letak Pulau Moti..... | 5 |
| Gambar 2.2 | Distribusi Jumlah Jiwa, Laki-laki, Perempuan dan KK..... | 6 |
| Gambar 2.3 | Grafik Tingkat Pendidikan Masyarakat Pulau Moti | 7 |
| Gambar 2.4 | Profil Mata Pencaharian Masyarakat Pulau Moti | 8 |
| Gambar 2.5 | Pembuatan Sagu, Salah Satu Industri Rumah Tangga di Kelurahan Tafaga | 8 |
| Gambar 2.6 | Peta Potensi Energi Angin dan Matahari di Indonesia..... | 10 |
| Gambar 2.7 | Skema Sistem Hibrida <i>PV/Wind/Diesel</i> | 12 |
| Gambar 2.8 | Aliran Daya pada Beban Rendah/ <i>Load Loads</i> | 15 |
| Gambar 2.9 | Aliran Daya pada Beban Menengah/ <i>Medium Loads</i> | 15 |
| Gambar 2.10 | Aliran Daya Pada Beban Puncak/ <i>Peak Load</i> | 16 |
| Gambar 2.11 | Arsitektur Simulasi dan Optimasi <i>HOMER</i> | 21 |
| Gambar 3.1 | Diagram Metodologi Penelitian | 31 |
| Gambar 3.2 | Diagram Alir Penelitian | 32 |
| Gambar 3.3 | Diagram Alir Simulasi <i>HOMER</i> | 39 |
| Gambar 4.1 | Rumah Generator Diesel (kiri) dan Generator Diesel Kelurahan Takofi (kanan), Bantuan Pemerintah Tahun 2002 | 41 |
| Gambar 4.2 | Rumah Generator Diesel (kiri), Generator Diesel Kelurahan Tafamutu (kanan), Bantuan Pemerintah Tahun 2012 | 42 |
| Gambar 4.3 | Generator Diesel Dusun Guramadehe Kelurahan Figur dalam kondisi rusak, tidak beroperasi. | 42 |
| Gambar 4.4 | Generator Diesel 60 kVA/48 kW, Bantuan Pemda Kota Ternate Tahun 2014..... | 43 |
| Gambar 4.5 | Grafik Konsumsi BBM Jenis Solar dan Oli di Pulau Moti | 44 |
| Gambar 4.6 | Profil Beban Listrik Pulau Moti | 46 |
| Gambar 4.7 | Frekuensi Kecepatan Angin Pulau Moti Tahun 2011-2014..... | 47 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.8 | Daya <i>Output</i> Turbin Angin (TSD-500/HAWT) Kapasitas 500 Watt..... | 49 |
| Gambar 4.9 | Daya <i>Output</i> Turbin Angin (SW Whisper 200) Kapasitas 1 kW..... | 50 |
| Gambar 4.10 | Radiasi Matahari Harian di Pulau Moti..... | 53 |
| Gambar 4.11 | Skema Diesel (100%) | 57 |
| Gambar 4.12 | Skema PV (100%) | 57 |
| Gambar 4.13 | Skema PV + Diesel..... | 57 |
| Gambar 4.14 | Perbandingan Produksi Energi Listrik, Pemakaian Energi pada Beban, Kelebihan Energi pada Sistem dan Kapasitas Beban yang Tidak Terpenuhi..... | 62 |
| Gambar 4.15 | Perbandingan <i>Capital Costs</i> Konfigurasi Sistem | 65 |
| Gambar 4.16 | Perbandingan <i>Net Present Cost</i> Konfigurasi Sistem | 65 |
| Gambar 4.17 | Perbandingan <i>Fuel Consumption</i> | 66 |
| Gambar 4.18 | Perbandingan <i>Fuel Cost</i> | 67 |
| Gambar 4.19 | Perbandingan <i>COE</i> | 68 |
| Gambar 4.20 | <i>Net Present Cost</i> Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%) | 72 |
| Gambar 4.21 | Aliran Biaya Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%) Selama 25 Tahun..... | 72 |
| Gambar 4.22 | Rata-rata Produksi Listrik Bulanan Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%) Selama Setahun | 73 |
| Gambar 4.23 | Pemenuhan Beban Listrik di Pulau Moti Oleh Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%)..... | 74 |
| Gambar 4.24 | <i>Output</i> Energi Listrik Tahunan oleh PV, Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%)..... | 75 |
| Gambar 4.25 | <i>Output</i> Energi Listrik Tahunan oleh Generator Diesel, Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%) | 75 |
| Gambar 4.26 | <i>Net Present Cost</i> Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%) | 77 |
| Gambar 4.27 | Aliran Biaya Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%) Selama 25 Tahun..... | 77 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.28 | Rata-rata Produksi Listrik Bulanan Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%) Selama Setahun | 78 |
| Gambar 4.29 | Pemenuhan Beban Listrik di Pulau Moti Oleh Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%) | 79 |
| Gambar 4.30 | <i>Output</i> Energi Listrik Tahunan Oleh PV, Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%) | 80 |
| Gambar 4.31 | <i>Output</i> Energi Listrik Tahunan Oleh Generator Diesel, Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%)..... | 80 |

Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Jumlah Penduduk Pulau Moti | 7 |
| Tabel 2.2 | Jumlah Sarana Umum Pulau Moti | 9 |
| Tabel 2.3 | Karakteristik Model dari <i>HOMER</i> , <i>Hybrid2</i> dan <i>RETScreen</i> | 28 |
| Tabel 3.1 | Perkiraan Beban Listrik Harian Pulau Moti..... | 34 |
| Tabel 3.2 | Hasil Tabulasi Konsumsi Energi Beban Harian per-jam | 35 |
| Tabel 4.1 | Kondisi Kelistrikan di Pulau Moti | 44 |
| Tabel 4.2 | Biaya Konsumsi BBM Solar dan Oli untuk Generator Diesel Pulau Moti | 45 |
| Tabel 4.3 | Estimasi Penggunaan Beban Listrik per-rumah..... | 46 |
| Tabel 4.4 | Skala Potensi Angin Rata-rata di Indonesia..... | 48 |
| Tabel 4.5 | Energi Keluaran <i>Wind Turbin</i> 500 Watt dan 1 kW untuk Durasi Kecepatan Angin di Pulau Moti Tahun 2011 s/d 2014 | 51 |
| Tabel 4.6 | Energi Radiasi Matahari di Pulau Moti (untuk Kapasitas PV 1 kWp)..... | 54 |
| Tabel 4.7 | Pemenuhan Energi Beban Listrik Tiap Model Konfigurasi..... | 58 |
| Tabel 4.8 | Kapasitas Minimal Komponen Sistem PLH | 60 |
| Tabel 4.9 | Biaya Komponen Sistem PLH | 61 |
| Tabel 4.10 | Kapasitas Komponen Sistem Konfigurasi yang Optimal | 61 |
| Tabel 4.11 | Produksi Energi Listrik dari Komponen Sistem | 62 |
| Tabel 4.12 | Persentase Kelebihan Energi Listrik Sistem Konfigurasi | 64 |
| Tabel 4.13 | Cadangan Energi Listrik Harian | 64 |
| Tabel 4.14 | Tarif Daya Listrik Sistem Konfigurasi PLH | 69 |
| Tabel 4.15 | Perkiraan Biaya Listrik per-Bulan..... | 69 |
| Tabel 4.16 | Rangkuman Hasil Simulasi Model Konfigurasi Sistem PLH..... | 70 |
| Tabel 4.17 | Perkiraan Biaya Listrik Sistem Konfigurasi PV (50%) + Diesel (50%)..... | 76 |
| Tabel 4.18 | Perkiraan Biaya Listrik Sistem Konfigurasi PV (70%) + Diesel (30%)..... | 81 |

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Ternate adalah salah satu kabupaten/kota di Provinsi Maluku Utara, merupakan kota kepulauan yang memiliki 5 buah pulau berpenduduk dan 3 lainnya berukuran kecil tidak berpenghuni (BPS, 2013). Kondisi geografis ini menyebabkan penyebaran elektrifikasi bagi pulau-pulau berpenduduk di luar Pulau Ternate (Kota Ternate) menjadi tidak merata dan memaksa pemerintah untuk memasok generator diesel ke pulau-pulau tersebut sebagai sumber energi listrik utama untuk kebutuhan listrik mereka. Seperti halnya Pulau Moti, sebagai salah satu kecamatan dalam wilayah Kota Ternate, karena kondisi geografis tidak dapat tersuplai oleh aliran listrik PLN induk di Kota Ternate (Musrembang Kota Ternate, 2014).

Pemenuhan kebutuhan listrik di Pulau Moti oleh Pemerintah telah diupayakan melalui Program Pengembangan Kecamatan (PPK) tahap I tahun 2002 dan tahap II tahun 2004, dengan diberikannya bantuan ke setiap kelurahan dan dusun berupa generator diesel guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di kecamatan tersebut. Namun pengoperasian generator diesel tersebut hanya sebatas pada malam hari yaitu jam 18:30 – 23:00 WIT atau 4,5 Jam/hari. Ada juga untuk memenuhi kebutuhan listriknya sebagian masyarakat yang berprofesi sebagai PNS dan Pedagang menggunakan generator diesel milik pribadi untuk penerangan rumahnya dan sekaligus untuk berjaga-jaga jika generator diesel dari kelurahan tidak beroperasi atau rusak (Data survey, 2014).

Salah satu sebab pengoperasian generator diesel yang terbatas ini adalah karena ketersediaan bahan bakar minyak (BBM), karena kondisi geografis harganya menjadi sangat mahal. Selain itu dibutuhkan biaya pemeliharaan generator diesel yang sangat besar karena dampak dari pengoperasian yang tidak efisien dan pengaruh umur generator yang sudah tua. Beberapa dusun yang generator dieselnya rusak, tidak dapat diperbaiki lagi, selain karena umur

generator, juga faktor ketersediaan dan mahal nya suku cadang yang harus di pesan ke distributor luar daerah. (Data survey, 2014).

Selain permasalahan di atas, kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) sekarang ini sangat berdampak pada tingginya biaya operasional generator diesel terutama biaya bahan bakarnya. Untuk itu, solusi untuk mengurangi pemakaian dan ketergantungan akan bahan bakar minyak (BBM) generator diesel, yaitu dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang dimiliki. (Sari, 2015).

Berdasarkan data badan antariksa Amerika Serikat (NASA), daerah di Pulau Moti kaya akan sinar matahari dengan rata-rata radiasi pertahun sebesar 5,96 kWh/m²/hari; (NASA, 2015), dan juga memiliki kecepatan angin rata-rata pertahun sebesar 3,8 m/s (BMKG, 2015). Potensi energi terbarukan ini perlu di analisa sehingga bisa menjadi sumber energi alternatif yang mampu mengurangi kebutuhan akan bahan bakar minyak (BBM) dan beralih pada penggunaan energi baru terbarukan.

Studi ini dilaksanakan di Pulau Moti Kota Ternate dengan mengusulkan pemodelan konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida (PLH) yang terdiri dari konfigurasi generator diesel, konfigurasi energi terbarukan, dan gabungan konfigurasi generator diesel dan energi terbarukan. Analisa data menggunakan *software HOMER (Hybrid Optimization Model for Energi Renewable)*, dengan perangkat lunak ini akan diperoleh model konfigurasi sistem dengan berbagai pilihan sumber energi yang mungkin di terapkan sesuai dengan ketersediaan potensi energi di daerah tersebut. (Rauf, 2013).

Hasil dari pemodelan sistem pembangkit listrik hibrida ini berupa model atau desain konfigurasi sistem pembangkit listrik hibrida yang optimal dengan *output* berupa ukuran/kapasitas sistem, biaya awal investasi (*Capital Cost*), biaya penggantian (*Replacement*), biaya operasional dan perawatan (*O&M*), biaya bahan bakar (*Fuel Cost & Fuel Consumption*), dan *lifecycle cost* atau biaya *net present cost* (NPC) yang minimum selama proyek berlangsung. (Anayochukwu, 2013).

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan dalam studi ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui kondisi kelistrikan di Pulau Moti Kota Ternate?
2. Bagaimana Potensi dan pemanfaatan Ketersediaan Energi Terbarukan di Pulau Moti?
3. Bagaimana model Sistem Pembangkit Listrik Hibrida yang optimal untuk Pulau Moti Kota Ternate?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kondisi kelistrikan di Pulau Moti Kota Ternate
2. Mengetahui potensi dan pemanfaatan ketersediaan energi terbarukan di Pulau Moti Kota Ternate.
3. Memperoleh model Sistem Pembangkit Listrik Hibrida yang optimal di Pulau Moti Kota Ternate.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai referensi bagi Pemerintah Kota Ternate dalam pengambilan kebijakan guna pemenuhan kebutuhan listrik Pulau Moti di masa mendatang.

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keadan Umum Pulau Moti

2.1.1 Letak Geografis

Wilayah Kecamatan Moti terletak diantara $0^{\circ} 25'$ - $0^{\circ} 28'$ Lintang Utara dan $127^{\circ} 26'$ – $127^{\circ} 22'$ Bujur Timur. Luas daratan Kecamatan Moti sebesar 24,60 km² (Gambar 2.1). Wilayah ini seluruhnya dikelilingi oleh laut dan mempunyai batas-batas sebagai berikut:

- ☐ Sebelah Utara dengan Selat Halmahera
- ☐ Sebelah Selatan dengan Selat Halmahera
- ☐ Sebelah Timur Selat Halmahera
- ☐ Sebelah Barat dengan Laut Maluku

(BPS, 2013)



Gambar 2.1 Letak Pulau Moti. (Sumber: Google Maps; www.google.co.id)

2.1.2 Topografi

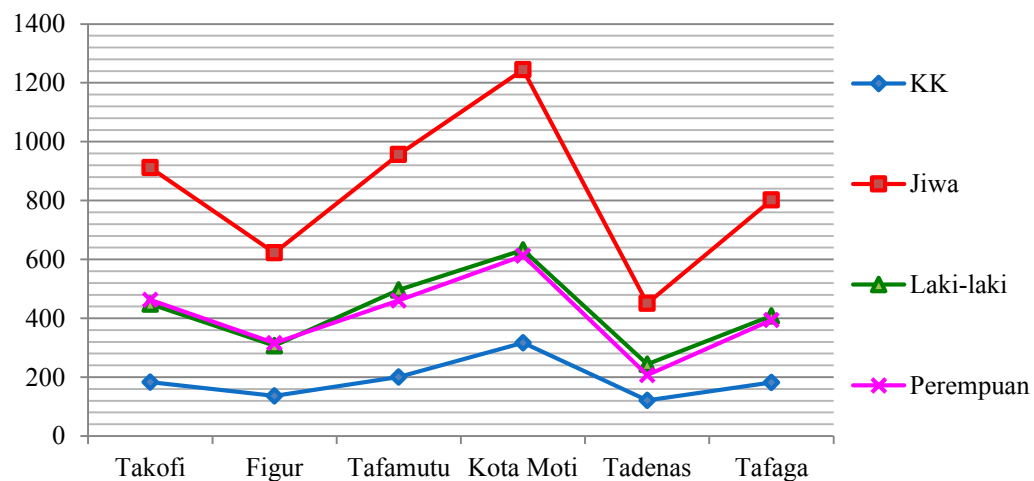
Kondisi topografi Kecamatan Moti ditandai dengan tingkat ketinggian dari permukaan laut yang seragam, yaitu sekitar 0 - 499 m (Rendah) dengan enam kelurahan. (BPS, 2013)

2.1.3 Iklim

Kecamatan Moti dan juga umumnya daerah di Kota Ternate mempunyai tipe iklim tropis, sehingga sangat dipengaruhi oleh iklim laut yang biasanya heterogen sesuai kondisi umum iklim tropis. (BPS, 2013)

2.1.4 Penduduk

Gambar 2.2 menunjukkan distribusi jumlah KK, Jiwa, Laki-laki, dan Perempuan tiap Kelurahan.



Gambar 2.2 Distribusi Jumlah Jiwa, Laki-laki, Perempuan dan KK
(Sumber : Olahan Data Survey, 2014)

Dari Gambar 2.2 jumlah penduduk terbanyak terdapat di Kelurahan Kota Moti sebanyak 1.245 jiwa dan terendah ada di Kelurahan Tadenas sebanyak 451 jiwa. Jumlah KK terbanyak juga terdapat di Kelurahan Kota Moti sebanyak 317 KK dan terendah di Kelurahan Tadenas sebanyak 121, namun untuk jumlah laki-laki dan perempuan disetiap kelurahan cukup berimbang. Rincian data jumlah penduduk tiap kelurahan di Pulau Moti dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jumlah Penduduk Pulau Moti.

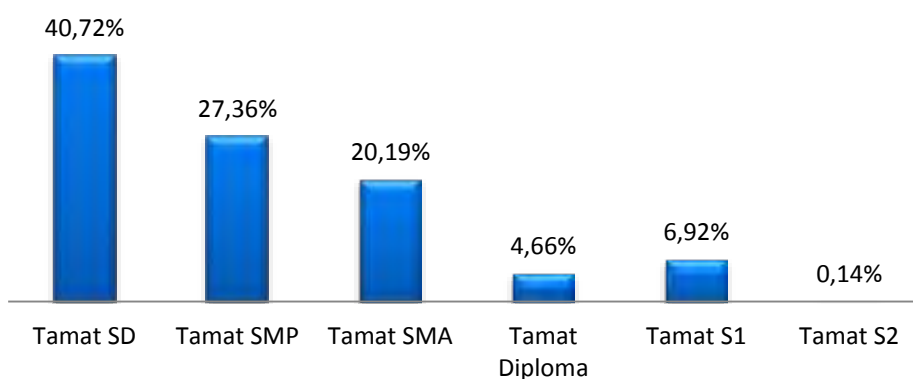
| No | Kelurahan | KK | Jiwa | Laki-laki | Perempuan | Jumlah Rumah |
|---------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Takofi | 183 | 912 | 449 | 463 | 153 |
| 2 | Figur | 136 | 623 | 307 | 316 | 96 |
| 3 | Tafamutu | 201 | 956 | 496 | 460 | 178 |
| 4 | Kota Moti | 317 | 1245 | 632 | 613 | 286 |
| 5 | Tadenas | 121 | 451 | 244 | 207 | 99 |
| 6 | Tafaga | 182 | 802 | 408 | 394 | 176 |
| Jumlah | | 1.140 | 4.989 | 2.536 | 2.453 | 988 |

(Sumber : Olahan data survey, 2014)

Dari Tabel 2.1, jumlah penduduk Pulau Moti adalah 4.989 Jiwa dengan rincian laki-laki 2.536 Jiwa, perempuan 2.453 Jiwa, dan jumlah Kepala Rumah Tangga 1.140 KK.

2.1.5 Pendidikan

Tingkat Pendidikan Masyarakat Pulau Moti dapat dilihat pada Gambar 2.3.

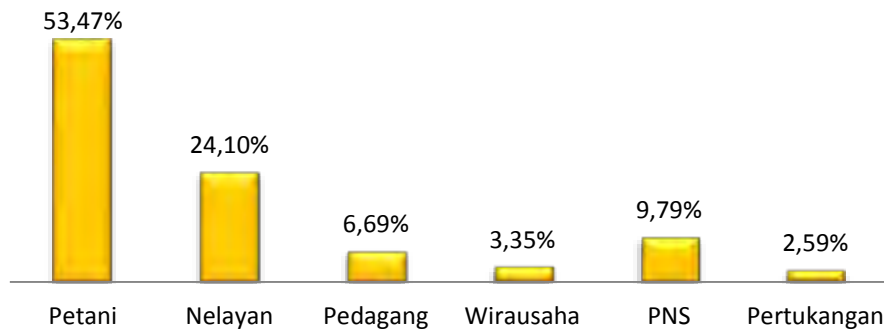


Gambar 2.3 Grafik Tingkat Pendidikan Masyarakat Pulau Moti.
(Sumber : Olahan data survey, 2014)

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa persentase tingkat pendidikan masyarakat Pulau Moti terbanyak ada pada tamatan Sekolah Dasar (SD) sebesar 40,27%, kemudian berturut-turut tamatan SMP sebesar 27,36%, SMA 20,19%, Diploma 4,66%, S1 6,92% dan tamatan S2 0,14%.

2.1.6 Pekerjaan

Gambar 2.4 menunjukkan mata pencaharian masyarakat Pulau Moti tertinggi berturut-turut terdapat pada profesi/pekerjaan Petani sebesar 53,47%, Nelayan 24,10%, PNS 9,79%, Pedagang 6,69%, Wirausaha 3,35% dan Pertukangan 2,59%.



Gambar 2.4 Profil Mata Pencaharian Masyarakat Pulau Moti
(Sumber: Olahan hasil survey, 2014)



Gambar 2.5 Pembuatan Sagu, salah satu Industri Rumah Tangga di
Kelurahan Tafaga (Sumber: Olahan data survey, 2014)

2.1.7 Pendapatan

Hasil wawancara beberapa responden pada setiap kelurahan di Pulau Moti di dapatkan bahwa pendapatan rata-rata masyarakat Pulau Moti per bulan adalah:

- Petani : \pm Rp.1.500.000/Bulan (Tergantung hasil panen di kebun).
- Nelayan : \pm Rp. 2.000.000/Bulan (Tergantung musim).
- Profesi lain : Berfariasi mulai dari Rp.1.000.000 – Rp.3.500.000/Bulan

2.1.8 Fasilitas Umum

Fasilitas umum Pulau Moti terdiri atas 10 buah Mesjid, 8 buah Musallah atau Tempat Pengajian Al-Qur'an (TPA/TPQ), 16 buah Sekolah, 6 Kantor Kelurahan dan Kantor Instansi lainnya, 1 buah Puskesmas dan lainnya Polik Kesehatan, 1 Gedung Serbaguna dan 1 Gedung Pasar. Rincian sarana umum Pulau Moti dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jumlah Sarana/Fasilitas Umum Pulau Moti

| No | Kelurahan | Mesjid | Musallah/ TPA/TPQ | Sekolah | Puskesmas/ Polik Kesehatan | Kantor | Gedung |
|---------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------|
| 1 | Takofi | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | Figur | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | Tafamutu | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | Kota Moti | 1 | 5 | 3 | 1 | 7 | 1 |
| 5 | Tadenas | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 6 | Tafaga | 2 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Jumlah | | 10 | 8 | 16 | 6 | 13 | 2 |

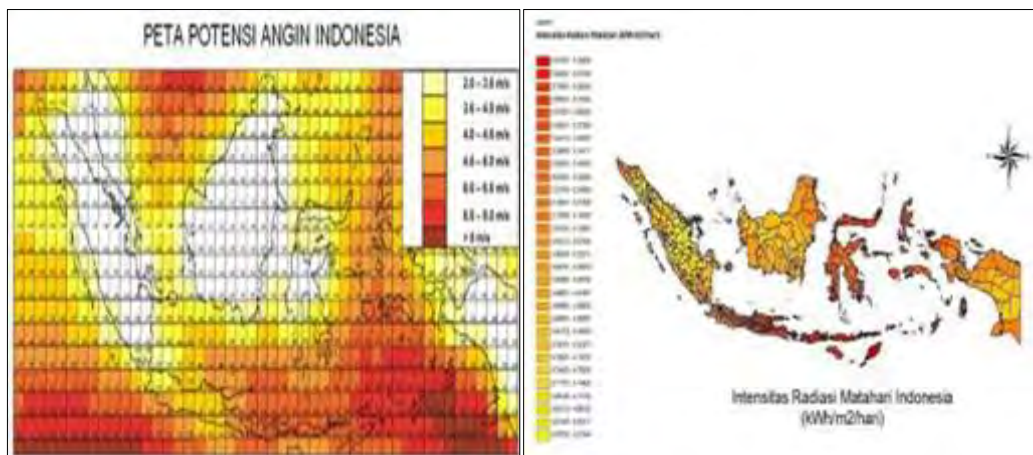
(Sumber : Olahan data survey, 2014)

2.1.9 Jarak dan Waktu Tempuh dari Pulau Moti ke Kota Ternate

Jarak dari Ibukota Kecamatan Moti (Kelurahan Kota Moti) ke Ibukota Kota Ternate adalah 11 mil (mil laut) dengan waktu tempuh 3 jam menggunakan speed boat (BPS, 2012).

2.2 Peta Potensi Energi Angin dan Matahari di Indonesia

Pemerintah melalui Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral telah membuat peta potensi energi baru terbarukan (EBT). Peta yang dibuat adalah peta potensi energi surya, mikrohidro, angin dan biomassa. Peta ini akan membantu pemerintah pusat, pemerintah daerah dan investor dalam mengembangkan EBT di daerah sebagai upaya mendukung pencapaian target bauran energi di Kebijakan Energi Nasional yang mengacu pada Perpres No. 5 tahun 2006 (ESDM, 2013).



Gambar 2.6 Peta Potensi Energi Angin dan Matahari di Indonesia
(sumber : <http://www.esdm.go.id>)

Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) 2010 menyebutkan, energi angin di Indonesia berpotensi menghasilkan daya listrik sebesar 9,2 GW. Pada tahun 2009 kapasitas terpasang sistem konversi angin di seluruh Indonesia mencapai 1,4 MW. Lokasi pemanfaatan turbin angin ini diantaranya (Samuel, 2013):

- 1) *Of grid/stand-alone* total terpasang 65 kW di Jabar, Jateng, DIY, NTB, NTT dan Maluku.
- 2) *Of grid/Hybrid* (angin-surya-diesel) total terpasang 175 kW di Kepulauan Seribu, Madura, Rote, TTU, dan DIY.
- 3) *On grid (mikro grid)* total terpasang 1.275 kW di Nusa Penida, Sangehe dan Selayar.

(Kerja sama LAPAN dengan RISTEK, BPPT, ESDM dan Pemda)

Pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik di Indonesia secara teknis masih mengalami beberapa kendala terutama disebabkan oleh kecepatan angin rata-rata yang relatif rendah, yaitu berkisar antara 2,5 – 6 m/s. Di sisi lain kincir angin yang tersedia di pasaran sejauh ini disesuaikan dengan kondisi asal negara pembuatnya, dimana kecepatan angin rata-rata cukup tinggi (diatas 8 m/s). (Haryanto. dkk, 2009)

Sebagai salah satu negara yang terletak di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi energi matahari yang sangat besar. Hal ini disebabkan karena

pergeseran oleh sudut datang cahaya matahari setiap tahunnya tidak terlalu jauh dibandingkan dengan negara-negara yang terletak jauh di bagian utara dan selatan khatulistiwa.

Menurut Meita Rumbayan (2012); Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari beberapa lokasi di Indonesia, nilai radiasi matahari dibagi dalam tiga klasifikasi yaitu; rendah (di bawah $4,9 \text{ kWh/m}^2$), menengah ($4,9 - 5,25 \text{ kWh/m}^2$) dan tinggi (di atas $5,25 \text{ kWh/m}^2$), sebagian besar wilayah di Indonesia menerima potensi iradiasi matahari global yang tinggi, dengan nilai radiasi berkisar antara $4,6 \text{ kWh/m}^2$ sampai dengan $7,2 \text{ kWh/m}^2$. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa bagian timur Indonesia memiliki potensi energi surya yang paling besar sepanjang tahun, terutama di Bali, Lombok, Kupang, Manado, Palu, Makasar, Gorontalo, Ambon, dan Ternate. Hasil prediksi nilai radiasi matahari bulanan menggunakan Model ANN untuk beberapa kota di Indonesia sebagai berikut: Bengkulu dengan nilai rata-rata tahunan radiasi matahari sebesar $4,75 \text{ kWh/m}^2$; Jakarta: $4,97 \text{ kWh/m}^2$; Samarinda: $4,83 \text{ kWh/m}^2$; Manado: $5,98 \text{ kWh/m}^2$; dan Ambon: $5,67 \text{ kWh/m}^2$; di mana Manado adalah yang tertinggi memiliki nilai radiasi matahari, di ikuti oleh Ambon kemudian Jakarta, Samarinda dan Bengkulu. (Rumbayan. dkk, 2012).

2.3 Pembangkit Listrik Hibrida (PLH)

Istilah Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (PLH), adalah sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit listrik yang terintegrasi, biasanya gabungan antara generator konvensional (Mesin Diesel atau Gas) dan energi terbarukan (Abadi, 2011); Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah/Biogas. Di seluruh dunia kini ada ribuan sistem PLH beroperasi dan jumlahnya terus bertambah, mulai dari ukuran beberapa puluh Watt hingga puluhan kiloWatt.

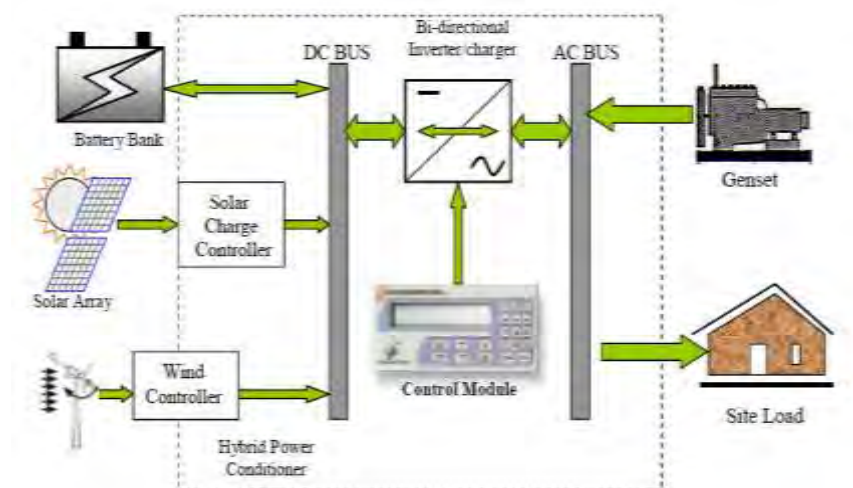
Beberapa keuntungan sistem PLH adalah: (1) meningkatkan kehandalan sistem dalam memenuhi beban, (2) mengurangi emisi dan polusi, (3) menyediakan distribusi listrik kontinyu, (4) meningkatkan usia sistem, dan (5)

mengurangi biaya-biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik (Irawan, 2012).

Di Indonesia, sistem pembangkit listrik hibrida ini telah dibangun di 25 lokasi yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, salah satunya pada tahun 2010 Pemerintah Indonesia membangun proyek percontohan pengembangan energi sistem hibrida di perkampungan nelayan pantai Pandansimo Kabupaten Bantul Yogyakarta. PLH di Pandansimo tersebut dibangun dengan memanfaatkan energi kincir angin dan panel surya. (Abadi, 2011).

Suatu sistem PLH biasanya dibangun dari: (1) inverter dengan rating daya kontinyu 60% dari daya beban, (2) satu atau dua mesin dan generator diesel yang biasanya memiliki kapasitas sama hingga 1,5 kali rating daya inverter dan dilengkapi sistem control otomatis, (3) sistem penyimpanan yang biasanya berupa *Bank Battery Leadacid* dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu, (4) Sistem Pembangkit Energi Terbarukan seperti *Photovoltaic* dilengkapi *Regulator*, dan (5) sistem kontrol berbasis *mikroprosesor* untuk keperluan monitoring dan otomasi manajemen sistem (Kunaifi, 2010).

Gambar 2.7 menunjukkan Skema Sistem Hibrida *PV/Wind/Diesel*, sistem ini menggunakan tiga sumber energi yaitu; energi matahari melalui Panel Surya, energi angin melalui Turbin Angin dan energi minyak melalui Generator Diesel.



Gambar 2.7 Skema Sistem Hibrida *PV/Wind/Diesel* (Fauziah, 2009)

Ketiga sumber energi tersebut dirancang untuk mengoptimalkan sistem pembangkit guna memenuhi kebutuhan beban yang bervariasi sebagai fungsi waktu. Penggunaan diesel di sini diperlukan untuk memenuhi kekurangan kebutuhan yang disuplai oleh energi terbarukan dan juga pada saat terjadi beban puncak.

Konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida (PLH) seperti pada Gambar 2.7 meliputi beberapa komponen utama yaitu:

- 1) *Hybrid Power Conditioner* yang didalamnya berisi:
 - a. *Bi-Directional Inverter*; merupakan pengubah dua arah yaitu merubah tegangan *DC* dari battery menjadi tegangan *AC* atau sebaliknya dari keluaran generator ke sistem *DC* untuk pengisian energi ke battery (*Charge Battery*). (Sari, 2015)
 - b. *Solar Charge Conditioner* dan *Wind Controller* berfungsi untuk mengatur pengisian battery dari input “*PV-Module/Wind Turbin*” agar battery terkontrol pengisiannya sehingga tidak akan terjadi *Over Charge* maupun *Over Discharge*. (Guda. dkk, 2015)
- 2) *Solar Array* adalah rangkaian dari beberapa modul *photovoltaic* untuk mencapai nilai tegangan dan daya yang diinginkan, pada siang hari akan menghasilkan energi listrik yang kemudian disimpan dalam battery sehingga sewaktu waktu dapat dipergunakan. Proses penyimpanan melalui *Module Charge Control (PWM Solar Controller)* yang ada pada unit *HPC*, sehingga sistem pengisian Battery akan terkendali dan optimum.
- 3) *Wind Turbine* adalah salah satu generator energi terbarukan yang akan merubah energi kinetik (*Kinetic Energy*) ke energi mekanik dalam bentuk putaran dan dengan melalui generator listrik pada porosnya akan menghasilkan energi listrik. Keluaran dari energi angin berupa tegangan *DC/AC* yang nilainya disesuaikan dengan besaran tegangan battery yang terpasang. Jadi didalam *Wind Energy* ini sudah termasuk didalamnya control untuk battery, yaitu yang merubah tegangan *AC* dari keluaran generator turbin menjadi tegangan *DC* yang sesuai dengan besaran tegangan pengisian battery.
- 4) *Battery Bank*, digunakan untuk menyimpan energi pada siang dan malam hari yang berasal dari “*Solar Array dan Wind Turbin*” yang sewaktu waktu dapat

dipergunakan sesuai permintaan pada sistem manajemen energi yang ada pada *Hybrid Power Conditioner*.

- 5) *Diesel Generator* diperlukan sebagai kombinasi pembangkit untuk dapat mencapai nilai optimalisasi penyaluran sistem energi pada pelayanan beban. Untuk beban normal dan rendah diesel tidak akan beroperasi, tetapi untuk Beban Puncak atau energi yang tersimpan di battery dibawah ambang bawah, maka diesel akan mulai beroperasi untuk mensuplai kekurangan beban dan besarnya beban yang dipikul oleh diesel diatur sampai minimum 70% agar tercapai optimalisasi dan efisiensi pemakaian BBM terhadap energi yang dikeluarkan.

2.2 Prinsip Kerja Sistem PLH *PV/Wind/Diesel*

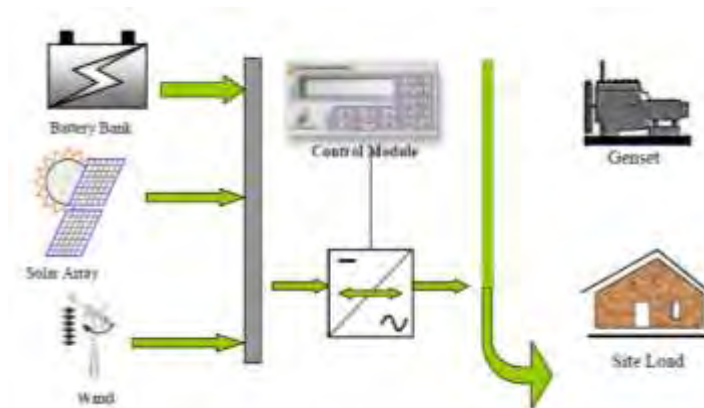
Cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida *PV/Wind/Diesel* sangat tergantung pada bentuk beban atau fluktuasi pemakaian energi (*Load Profile*) yang mana selama 12 atau 24 jam distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya. *Load Profile* ini sangat dipengaruhi oleh homogenitas atau faktor kebersamaan pada pembangkit yang dipasang.

Untuk mengatasi permasalahan beban yang tidak sama sepanjang hari maka kombinasi sumber energi antara Panel Surya (*PV*), Turbin Angin dan Generator Diesel adalah salah satu solusi paling cocok untuk sistem pembangkit yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN.

Pada umumnya PLH *PV/Wind/Diesel* bekerja dalam tiga tahap kategori yang sesuai urutan sebagai berikut:

a. Pada kondisi Beban Rendah (<50% Beban Puncaknya)

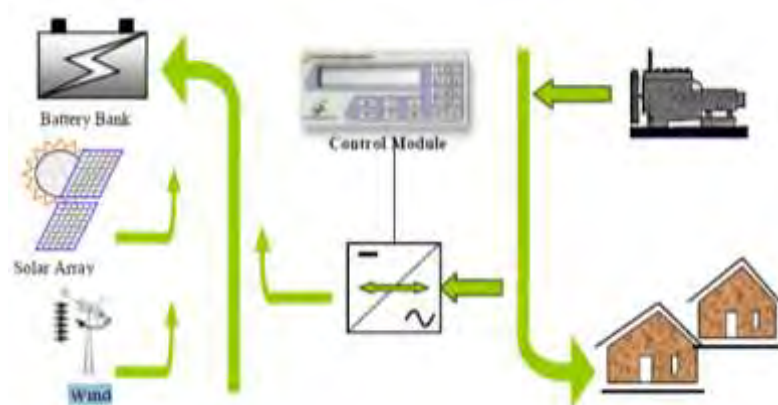
Pada kondisi ini semua beban disuplai 100% dari battery yang berasal dari sumber panel surya dan turbin angin. Jadi pada kondisi ini inverter yang ada di *HPC* akan merubah sistem *DC* ke sistem *AC* untuk mensuplai beban, selama kondisi battery masih penuh maka diesel tidak perlu beroperasi, ilustrasi pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Aliran Daya Pada Beban Rendah/*Low Loads*: diesel tidak kerja; beban disuplai oleh baterai dan sumber energi terbarukan (*Solar* dan *Wind*) melalui inverter.

b. Pada kondisi Beban Menengah (> 50% Beban Puncak)

Pada kondisi ini jika battery sudah kosong sampai level bawah yang disyaratkan, maka diesel secara otomatis mulai beroperasi untuk mensuplai beban dengan sebagian mengisi battery. Jadi pada kondisi ini inverter bekerja sebagai *Charger* (merubah tegangan *AC* dari generator menjadi tegangan *DC*) untuk mengisi battery (fungsi *Bi-Directional Inverter*). Setelah battery sudah penuh dan dirasa cukup untuk mensuplai beban maka secara otomatis diesel akan dimatikan dan beban akan di suplay oleh battery melalui inverter, ilustrasi seperti pada Gambar 2.9.

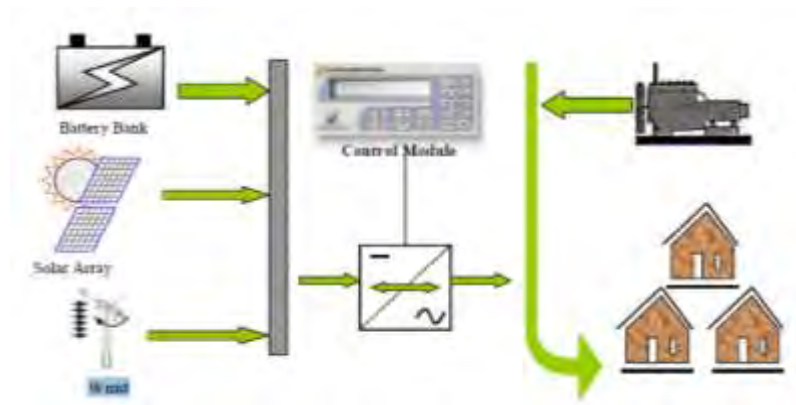


Gambar 2.9 Aliran Daya Pada Beban Menengah/*Medium Loads*: diesel beroperasi pada beban optimum, *HPC* mengisi battery dari kelebihan kapasitas.

Jika pada saat beban menengah $>50\%$ seperti pada Gambar 2.9 dan battery masih mencukupi, maka diesel tidak akan beroperasi dan beban tetap disuplai oleh battery melalui inverter yang akan merubah tegangan *DC* ke tegangan *AC*.

c. Pada Kondisi Beban Puncak

Pada kondisi ini baik diesel maupun inverter akan beroperasi dua-duanya untuk menuju *parallel system*, dan ini terjadi apabila kapasitas terpasang diesel atau inverter tidak mampu memikul beban puncak. Jika kapasitas diesel cukup untuk mensuplai beban puncak, maka inverter tidak akan beroperasi paralel dengan diesel. Apabila battery sudah mulai penuh energinya maka secara otomatis diesel akan dimatikan dan beban disuplai oleh battery melalui inverter, ilustrasi seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Aliran Daya Pada Beban Puncak; *Peak Load* : diesel beroperasi pada kondisi optimal dan bekerja paralel dengan baterai juga sumber energi terbarukan (*Wind* dan *Solar*) melalui inverter.

Ketiga proses kerja sistem pembangkit di atas dikendalikan oleh apa yang dinamakan *HPC (Hybrid Power Conditioner)*:

- Semua proses kerja diatur oleh sistem kontrol *power management* yang ada pada *HPC*. Proses kontrol ini bukan sekedar mengaktifkan dan menonaktifkan diesel tetapi yang utama adalah pengaturan energi agar pemakaian BBM diesel menjadi efisien.

- Energi Angin disini utamanya diperuntukan untuk mengisi battery karena keluarannya adalah tegangan *DC*. Kontrol pengisian ada pada sistem turbin angin itu sendiri, sehingga *HPC* hanya memonitoring besaran arus yang masuk ke battery.

Jadi pada pembangkit *PV/Wind/Diesel* yang utama adalah pengaturan aliran energi (Manajemen Energi) sehingga sistem pembangkit menjadi efisien dalam pemakaian BBM, bukan hanya sekedar *parallel system* dan atau *switch over* ke diesel atau inverter.

2.3 Perhitungan Energi dan Daya Listrik

2.3.1 Photovoltaic (PV)

Daya *output* panel surya (PV) dihitung berdasarkan persamaan (2.1).
(Tanoto, 2010)

$$P_{PV} = f_{PV} \times Y_{PV} \times \frac{G_T}{G_{T,STC}} \quad (2.1)$$

Dan *output* energi per jam (E_{PVG}) dari generator PV dapat dihitung menurut persamaan (2.2).

$$E_{PVG} = G(t) \times A \times P \times \eta_{PVG} \quad (2.2)$$

Dimana;

- P_{PV} : Daya yang dihasilkan PV (kW)
- Y_{PV} : Daya *output* pada pengujian dengan kondisi standar (kW)
- f_{PV} : PV derating factor (%)
- G_T : Radiasi sesaat pada permukaan PV array (kW/m²)
- $G_{T,STC}$: Radiasi sesaat menurut kondisi standar pengujian (1 kW/m²)
- A : Luas array (m²)
- η_{PVG} : Efisiensi PV

2.4.2 Wind Turbine

Daya *output* dari turbin angin (*Wind Turbin*) dihitung berdasarkan persamaan (2.3) (Balachander. dkk, 2012; Thaib. dkk, 2014)

$$P_{WG} = \frac{1}{2} \rho A_r C_P V_W^3 = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 C_P V_W^3 \quad (2.3)$$

Energi yang dihasilkan per jam (E_{WG}) oleh turbin angin dengan nilai daya *output* (P_{WG}) ini didefinisikan oleh persamaan (2.4).

$$E_{WG} (t) = P_{WG} \times t \quad (2.4)$$

Dimana;

V_W : Kecepatan angin pada sudu turbin (m/s)

C_P : Koefisien daya

ρ : densitas udara (1,2929 kg/m³) pada temperature 0 °C DPL

A : luas area sapuan rotor atau sudu turbin (m²)

r : Jari-jari rotor/sudu turbin (m)

2.4.3 Generator Diesel

Daya *output* generator diesel dihitung berdasarkan dengan persamaan (2.5).
(Susilo. dkk, 2014)

$$P_{gen} = F F_0 \frac{Y_{gen}}{F_1} \quad (2.5)$$

Energi dihasilkan perjam (E_{gen}) oleh generator diesel dengan nilai daya *output* (P_{gen}) di definisikan oleh persamaan (2.6).

$$E_{gen} (t) = P_{gen} (t) \times \eta_{gen} \quad (2.6)$$

Dimana;

P_{gen} : Daya *output* generator diesel (kW)

- F : Tingkat konsumsi bahan bakar (L/jam)
 F_0 : Kurva koefisien intercept bahan bakar (L/jam/kW)
 F_1 : *Slope kurva* bahan bakar (L/jam/kW)
 Y_{gen} : Kapasitas generator diesel (kW)
 η_{gen} : Efisiensi generator

Untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi yang lebih tinggi maka generator diesel akan selalu beroperasi antara 80 - 100% dari rating kW nya.

2.4.4 Inverter

Model inverter untuk generator PV dan battery diberikan dalam persamaan (2.7) dan (2.8). (Lal. dkk, 2011)

$$E_{PVG-IN}(t) = E_{PVG}(t) \times \eta_{INV} \quad (2.7)$$

$$E_{BAT-INV}(t) = \left[\frac{E_{BAT}(t-1)E_{Load}(t)}{\eta_{INV} \times \eta_{DCHG}} \right] \quad (2.8)$$

Penyearah ini digunakan untuk mengubah listrik *AC/DC* surplus dari unit generator PV dan diesel generator, ketika energi yang dihasilkan oleh Sistem Hibrida melebihi kebutuhan beban. Model penyearah diberikan oleh persamaan (2.9-11)

$$E_{REC-out}(t) = E_{REC-in}(t) \times \eta_{REC} \quad (2.9)$$

$$E_{REC-in}(t) = E_{SUR-AC}(t) \quad (2.10)$$

Pada setiap jam t ,

$$E_{SUR-AC}(t) = E_{SHP}(t) + E_{WEG}(t) + E_{DEG}(t) - E_{load}(t) \quad (2.11)$$

2.4.5 Battery

Untuk mencegah pengisian Battery yang berlebihan, digunakan sebuah kontrol pengisian untuk mendeteksi saat Battery terisi penuh dan untuk menghentikan atau mengurangi jumlah energi yang mengalir dari sumber energi ke battery. Model dari *Charge Controller* di nyatakan oleh persamaan (2.12) dan (2.13). (Lal. dkk, 2011)

$$E_{CC-out}(t) = E_{CC-in}(t) \times \eta_{CC} \quad (2.12)$$

$$E_{CC-in}(t) = E_{REC-out}(t) \times E_{SUR-DC}(t) \quad (2.13)$$

Keadaan *Battery Charge (SOC)* adalah jumlah kumulatif debit transfer pada setiap jam t . keadaan baterai berkaitan dengan keadaan sebelum pengisian, ke produksi energi dan situasi konsumsi sistem selama waktu dari $(t-1)$ ke (t) . Selama proses pengisian, ketika *output total* dari semua generator melebihi beban permintaan, kapasitas bank battery yang tersedia pada t jam dapat digambarkan oleh persamaan (2.14). (Lal. dkk, 2011)

$$E_{BAT}(t) = E_{BAT}(t - 1) - E_{CC-out}(t) \times \eta_{CHG} \quad (2.14)$$

Kapasitas bank battery yang tersedia pada t jam dapat dinyatakan oleh persamaan (2.15)

$$E_{BAT}(t) = E_{BAT}(t - 1) - E_{Needed}(t) \quad (2.15)$$

2.5 Homer

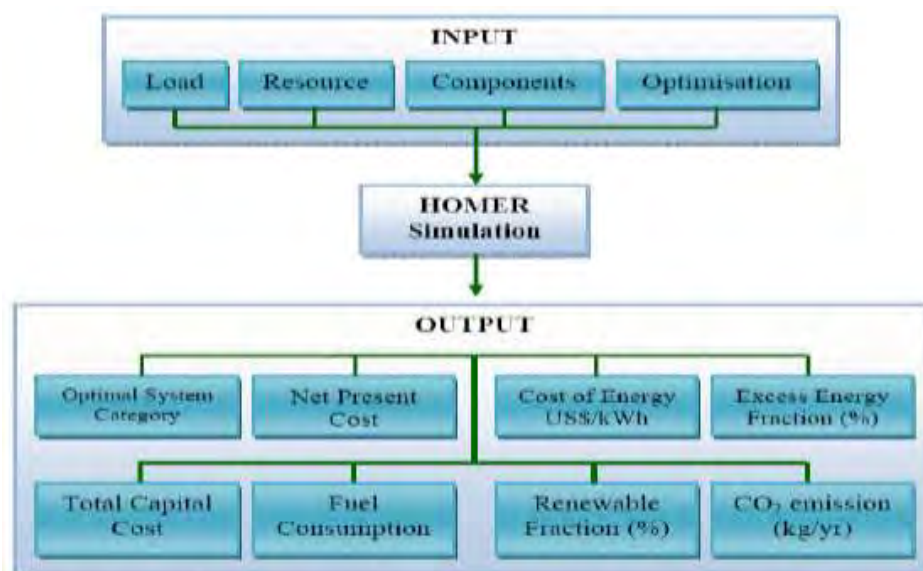
HOMER (The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables) adalah salah satu tool populer untuk desain sistem PLH menggunakan sumber energi terbarukan. *HOMER* mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *Stand-alone* maupun *Grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi Turbin Angin, Photovoltaic (PV), Mikrohidro, Biomassa,

Generator (Diesel/Bensin), Microturbine, Fuel-cell, Battery, dan penyimpanan Hidrogen, melayani beban listrik maupun termal (Giorgilakis, 2006).

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan *Energy Balance* untuk setiap 8760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung Battery dan Generator Diesel/Bensin, *HOMER* juga dapat memutuskan untuk setiap jam apakah Generator Diesel/Bensin beroperasi dan apakah Battery diisi atau dikosongkan. Selanjutnya *HOMER* menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*Life Time Costs*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen- komponen, biaya *O&M*, biaya Bahan Bakar, dan lain-lain.

Saat melakukan simulasi, *HOMER* menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut *Net Presents Costs* (*NPC*) atau disebut juga *Life Cycle Cost*. Jika analisa sensitivitas diperlukan, *HOMER* akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. *Error Relative* tahunan sekitar 3% dan *Error Relative* bulanan sekitar 10% (Kunaifi, 2010).

Gambar 2.11 menunjukkan arsitektur *HOMER* dengan sedikit modifikasi. Ada tiga bagian utama *HOMER*; *input*, *simulation* dan *output*.



Gambar 2.11. Arsitektur simulasi dan optimasi *HOMER*, (Kanata, 2015)

2.5.1 Total Net Present Cost (NPC)

Total *Net Present Cost (NPC)* adalah nilai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya *O & M*, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. Sedangkan yang termasuk pendapatan adalah nilai sisa dan pendapatan dari penjualan daya ke jaringan listrik. *HOMER* menghitung *NPC* dengan menggunakan persamaan (2.16-17).

(Kanata, 2015; Alkababjie, 2012)

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{RF(i, R_{proj})} \quad (2.16)$$

$$C_{ann,tot} = C_{acap} + C_{arep} + C_{O\&M} + C_{fuel} - C_S \quad (2.17)$$

Dimana,

$C_{ann,tot}$: Total biaya tahunan (\$/tahun);

$CRF()$: faktor pemulihan modal; i : tingkat bunga (%); R_{proj} : Umur/masa manfaat proyek (tahun);

C_{arep} : Biaya total penggantian;

$C_{O\&M}$: Biaya total operasional dan perawatan; dan

C_S : Total nilai sisa (Salvage).

2.5.2 Total Annualized Cost ($C_{ann,tot}$)

Total *Annualized Cost* merupakan penjumlahan dari semua biaya-biaya tahunan dari masing-masing komponen sistem, ditambah dengan biaya-biaya tahunan lainnya. Hal ini perlu dilakukan dikarenakan *HOMER* menggunakan nilai ini untuk menghitung biaya *Cost Of Energy (COE)* dan *Net Present Cost (NPC)*.

2.5.3 Annualized Capital Cost

HOMER memperhitungkan modal awal setiap komponen selama masa proyek untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan. *HOMER* menghitung biaya modal tahunan setiap komponen menggunakan persamaan (2.18).

$$C_{acap} = C_{cap} \times CRF(i, R_{proj}) \quad (2.18)$$

Dengan, C_{cap} : Biaya modal awal komponen; CRF : Faktor pemulihan modal; i : tingkat bunga; dan R_{proj} : Umur proyek.

2.5.4 Annualized Replacement Cost

Annualized Replacement Cost merupakan nilai tahunan dari semua biaya penggantian yang terjadi selama masa pakai dari sistem dikurangi nilai sisa pada akhir masa proyek. Persamaan yang digunakan (2.19).

$$C_{arep} = C_{rep} \times f_{rep} \times SFF(i, R_{comp}) - S \times SSF(i, R_{proj}) \quad (2.19)$$

dengan f_{rep} adalah faktor yang timbul dikarenakan masa pakai komponen dapat berbeda dari umur proyek, yang diperoleh dari persamaan (2.20).

$$f_{rep} = \begin{cases} CRF(i, R_{proj})/CRF(i, R_{rep}) & ; R_{rep} > 0 \\ 0 & ; R_{rep} = 0 \end{cases} \quad (2.20)$$

dengan R_{rep} adalah durasi biaya penggantian yang diberikan oleh (2.21).

$$R_{rep} = R_{com} \times INT(R_{proj}/R_{comp}) \quad (2.21)$$

dengan $INT()$ adalah fungsi integer.

HOMER mengasumsikan bahwa nilai sisa dari komponen pada akhir umur proyek sebanding dengan umur pakainya. Oleh karena itu nilai S diperoleh dari persamaan (2.22).

$$S = C_{rep} \times (R_{rem}/R_{comp}) \quad (2.22)$$

dengan R_{rem} adalah sisa umur komponen pada akhir masa proyek, yang diperoleh dari persamaan (2.23).

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (2.23)$$

dengan C_{rep} : biaya pengganti komponen; SFF : faktor dana sinking; i : tingkat bunga; R_{comp} : masa pakai komponen; dan R_{proj} : umur proyek.

2.5.5 Capital Recovery Factor

Capital Recovery Factor merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai saat ini dari suatu anuitas (serangkaian besaran arus kas tahunan). Persamaan *Capital Recovery Factor* diberikan oleh (2.24). (Mukhtaruddin, 2013)

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2.24)$$

dengan N adalah Jumlah Tahun dan i merupakan *Real Interest Rate*.

Tingkat bunga yang menjadi masukan di *HOMER* adalah tingkat bunga tahunan riil (disebut juga tingkat bunga riil atau hanya suku bunga). Ini adalah tingkat diskon yang digunakan untuk mengkonversi antara biaya satu waktu dan biaya tahunan. Tingkat bunga tahunan riil berkaitan dengan tingkat bunga nominal dengan persamaan (2.25). (Mukhtaruddin, 2013)

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (2.25)$$

dengan f adalah laju inflasi tahunan dan i' merupakan tingkat bunga nominal (tingkat bunga pinjaman).

Dengan mendefinisikan tingkat bunga dengan cara ini, inflasi adalah faktor diluar analisis ekonomi. Asumsinya adalah tingkat inflasi adalah sama untuk semua biaya. Faktor dana sinking merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai masa depan serangkaian besaran Arus kas tahunan, di berikan oleh persamaan (2.26).

$$SFF(i, N) = \frac{i}{(1+i)^N - 1} \quad (2.26)$$

2.5.6 Biaya Operasi dan Perawatan (O&M cost)

Biaya operasi dan pemeliharaan tetap sistem adalah biaya tahunan yang terjadi sesuai dengan ukuran atau konfigurasi sistem pembangkit. Biaya ini digunakan untuk menghitung biaya modal tahunan lainnya, yang juga mempengaruhi total biaya bersih sekarang dari tiap sistem.

Sedangkan biaya *O&M* lainnya adalah jumlah dari biaya tetap *O&M* sistem, pinalti untuk kekurangan kapasitas dan pinalti untuk emisi. *HOMER* menggunakan persamaan (2.27) untuk menghitung biaya *O&M*.

$$C_{om,other} = C_{om,fixed} + C_{c3} + C_{emission} \quad (2.27)$$

dengan $C_{om,fixed}$ adalah biaya tetap *O&M* sistem (\$/tahun) dan C_{c3} merupakan pinalti untuk kekurangan kapasitas (\$/tahun), dan $C_{emission}$ adalah pinalti untuk emisi (\$/tahun).

HOMER menggunakan persamaan (2.28) untuk menghitung pinalti kekurangan kapasitas.

$$C_{c3} = c_{c3} \times E_{c3} \quad (2.28)$$

dengan c_{c3} merupakan denda kekurangan kapasitas (\$/kWh) dan E_{c3} adalah total kekurangan kapasitas (kWh/tahun).

2.5.7 Biaya Bahan Bakar Generator

HOMER menghitung biaya bahan bakar tahunan generator dengan mengalikan harga bahan bakar dengan jumlah bahan bakar yang digunakan oleh generator dalam setahun. Jika generator menggunakan biogas, sebagai salah satu bahan bakarnya bersamaan dengan bahan bakar lainnya, maka *HOMER* juga memasukkan biaya biomasa kedalam biaya bahan bakar generator. Biaya biomasa adalah sama dengan jumlah bahan bakar biomasa yang dikonsumsi selama setahun dikalikan dengan harga biomasa tersebut.

Umur proyek adalah jangka waktu dimana biaya sistem terjadi. *HOMER* menggunakan umur hidup proyek untuk menghitung biaya penggantian, biaya modal tahunan dari masing-masing komponen, serta total biaya bersih sekarang dari sistem.

2.5.8 Pembelian Daya dari Jaringan Listrik

HOMER menghitung biaya beli tahunan menggunakan persamaan (2.29).

$$C_{grid,energy} = \sum rates_i \sum_j^{12} E_{gridpurchase,i,j} \times C_{power,i} - \sum rated_i \sum_j^{12} E_{gridpurchase,i,j} \times C_{selback,i} \quad (2.29)$$

dengan $E_{gridpurchase,i,j}$: Jumlah pembelian energi dari jaringan listrik dalam waktu j bulan dengan tarif i (kWh); $C_{power,i}$: Harga energi jaringan listrik untuk tarif i (\$/kWh); $E_{gridsales,i,j}$: Harga penjualan energi ke jaringan listrik dalam waktu bulan j dengan tarif i (kWh); dan $C_{selback,i}$: Harga penjualan ke jaringan listrik untuk tarif i (\$/kWh).

HOMER menghitung total biaya tahunan kebutuhan jaringan listrik dengan menggunakan persamaan (2.30).

$$C_{griddemand} = \sum rated_i \sum_j^{12} E_{grid,peak,i,j} \times C_{demand,i} \quad (2.30)$$

dengan $P_{grid,peak,i,j}$ adalah Beban Puncak selama bulan j dengan tarif i (kWh) dan $C_{demand,i}$ merupakan tarif kebutuhan jaringan listrik untuk tarif i (\$/kW/bulan).

2.5.9 Levelized Cost Of Energy (LCOE)

Levelize Cost of Energy didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh Produksi Energi Listrik yang terpakai oleh sistem. *LCOE* dihitung dengan persamaan (2.31). (Lakshmi, 2012)

$$LCOE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid sales}} \quad (2.31)$$

dengan $C_{ann,tot}$: Biaya total sistem tahunan (\$/tahun); $E_{prim,AC}$: Beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun); $E_{prim,DC}$: Beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun); E_{def} : Beban Deferable yang terpenuhi (kWh/tahun); dan $E_{grid sales}$: Total penjualan jaringan listrik (kWh/tahun).

2.6 Software Sistem Hibrida

Penggunaan *software* untuk menganalisa, mendesain dan kontrol suatu Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (PLH) telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti. Beberapa *tool* yang populer digunakan adalah *HOMER*, *Hybrid2* dan *RETScreen*. Tabel 2.3 menyajikan karakteristik model dari *HOMER*, *Hybrid2* dan *RETScreen*.

2.6.1 RETScreen

RETScreen adalah sebuah *software* yang digunakan untuk memfasilitasi studi pra- kelayakan dan studi kelayakan proyek-proyek energi bersih. Dengan menerapkan lima langkah analisa proyek sesuai satandar internasional, *RETScreen* dapat membantu para *stakeholders* (terutama calon investor) untuk membuat keputusan- keputusan penting menjelang implementasi proyek. *RETScreen* yang didesain oleh *RETScreen International Canada*, menyediakan fasilitas studi kelayakan untuk berbagai Teknologi Energi Bersih, yaitu: Energi Angin, Energi Air skala kecil, Energi Surya, Cogeneration (gabungan listrik dan panas), Energi Biomassa, Pemanas udara tenaga surya, Pemanas air tenaga surya, Sistem pengendalian temperatur gedung pasif, dan Pemompa panas dari sumber bawah

tanah (panas bumi). Tiga output yang dihasilkan *RETScreen* meliputi analisa finansial, analisa sensitifitas dan analisa resiko, dan estimasi pengurangan emisi gas rumah kaca.

Tabel. 2.3 Karakteristik Model dari *HOMER*, *Hybrid2* dan *RETScreen*

| Characteristic | HOMER | Hybrid2 | RETScreen |
|--------------------------------|------------|-----------|------------|
| Hybrid System | √ | √ | |
| Optimization | √ | | |
| Sensitivity analysis | | | |
| Mainly Technical or Economical | Economical | Technical | Economical |
| Photovoltaics | √ | √ | √ |
| Wind energy | √ | √ | √ |
| Biomass | √ | | √ |
| Biogas | | | |
| Geothermal | | | |
| Hydro | √ | | √ |
| Diesel | √ | √ | |
| Cogeneration | √ | | |
| Microturbines | √ | | |
| Batteries | √ | √ | √ |
| Fuel cells | √ | | |
| Electrolyzers | √ | | |
| Solar air heating | | | √ |
| Solar water heating | | | √ |
| Passive solar heating | | | √ |
| Ground-source heat pump | | | √ |

Sumber : (Georgilakis, 2006)

2.6.2 Hybrid2

Hybrid2 dirancang khusus untuk *Design System Hybrid* (gabungan dari beberapa Teknologi Pembangkit Listrik). Tiga jenis beban dan empat tipe peralatan konversi yang dikenal dalam dunia kelistrikan dapat disimulasikan oleh *Hybrid2*. Pembangkit listrik yang digunakan merupakan kombinasi (dengan ukuran dan tipe bervariasi) dari Turbin Angin, Panel Surya, Generator Diesel, dan Baterai. Berbagai strategi control dapat disimulasikan oleh *Hybrid2*. Analisa ekonomi menampilkan berbagai kemungkinan berdasarkan parameter-parameter ekonomi yang ada. Seperti *RAPSIM* dan *HOMER*, *Hybrid2* juga dapat melakukan

simulasi operasional sebuah sistem yang sudah beroperasi di lapangan. Hybrid2 dirancang bersama oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) dan *University of Massachusetts*.

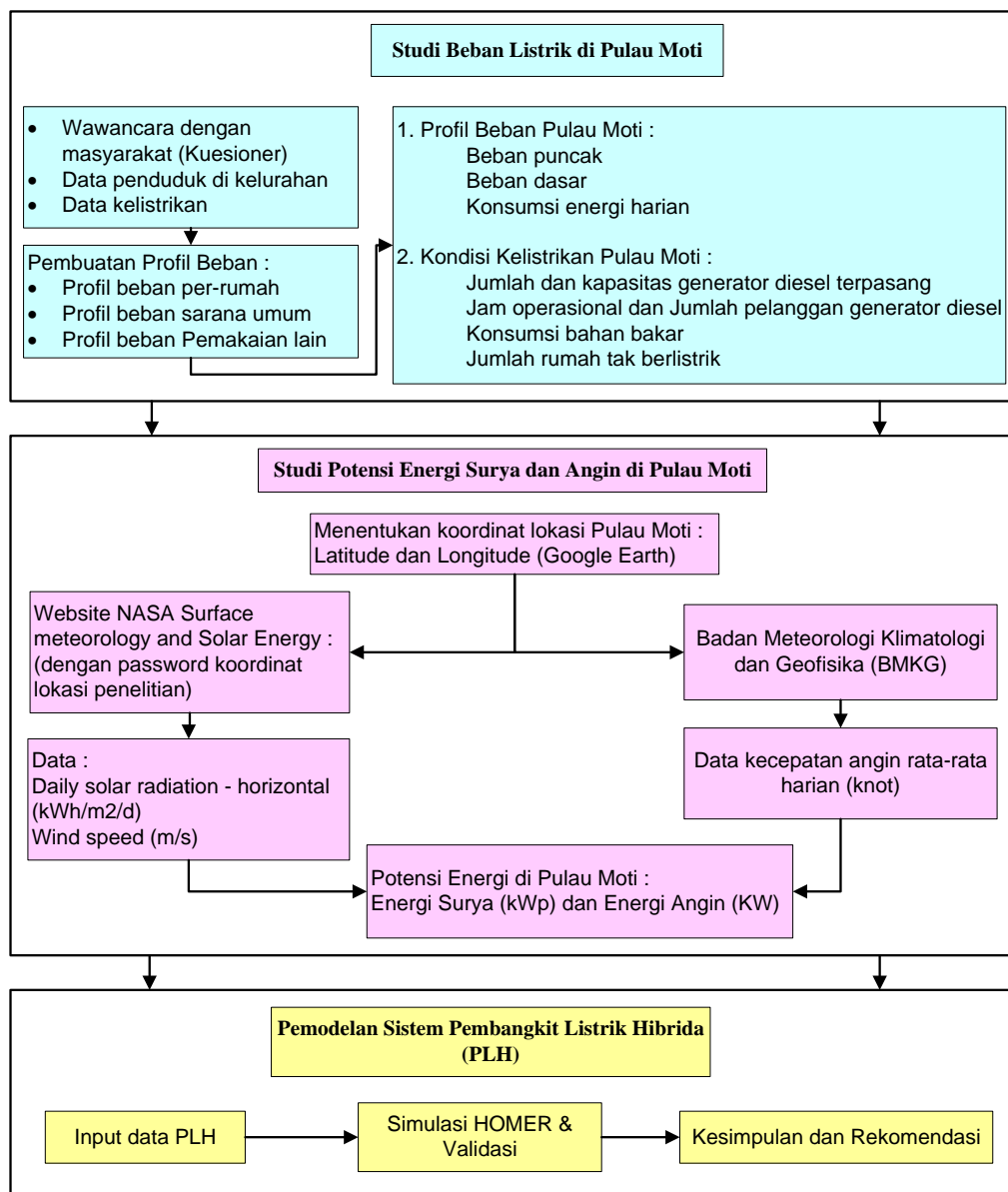
Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB 3

METODE PENELITIAN

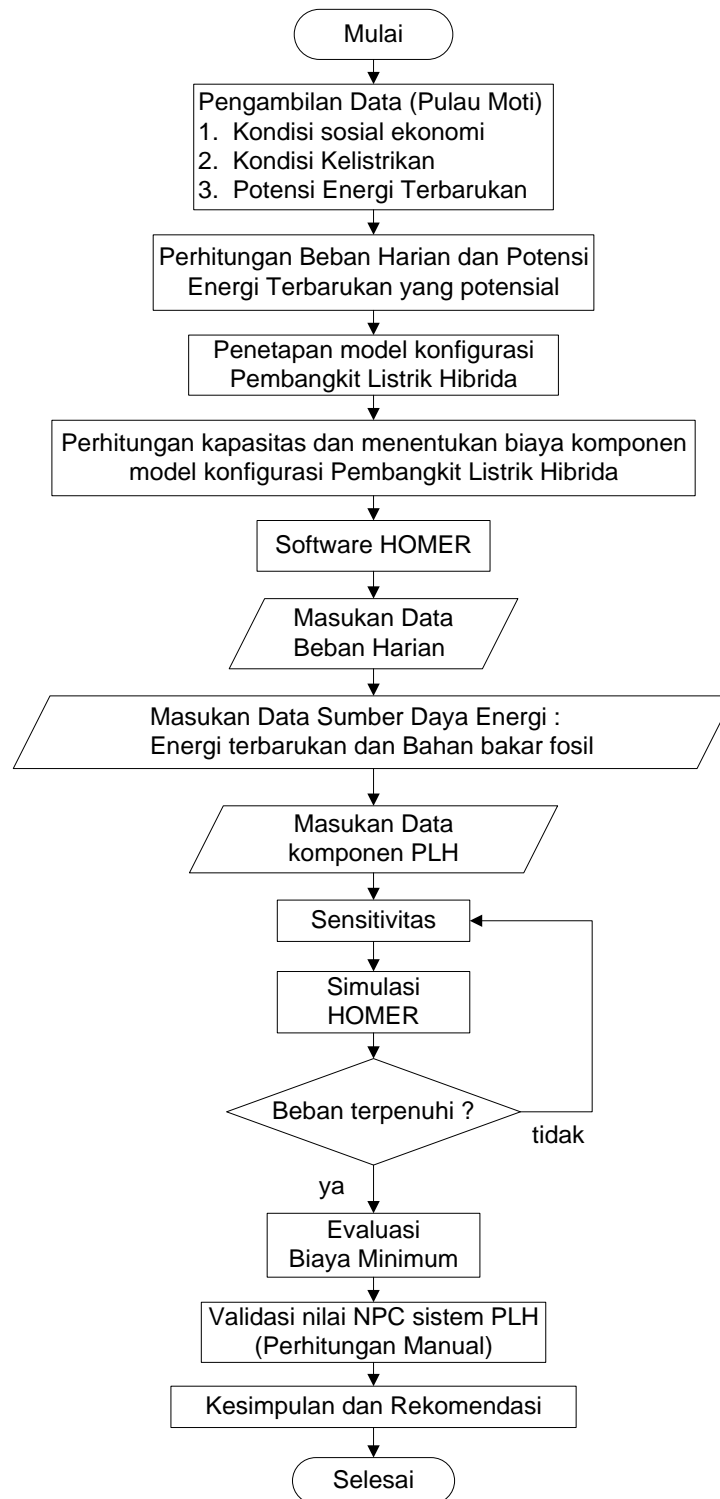
3.1 Alur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup tiga tahapan utama yaitu; studi beban listrik di Pulau Moti, studi potensi energi surya dan angin di Pulau Moti, dan pemodelan sistem pembangkit listrik hibrida. Gambar 3.1 menunjukkan diagram metode yang digunakan.



Gambar 3.1 Diagram Metodologi Penelitian

Secara keseluruhan tahapan penelitian dapat disajikan dalam diagram alir pada Gambar 2.3.



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

3.2 Pengambilan Data

Data yang di ambil dalam penelitian berupa :

- 1) Data kondisi kelistrikan Pulau Moti (Lokasi survey)
- 2) Data kondisi social ekonomi Pulau Moti (Lokasi Survey)
- 3) Data potensi Energi Terbarukan (BMKG dan Website NASA)
- 4) Data komponen PLH dengan harga satuan unitnya, harga bahan bakar minyak, nilai tukar rupiah terhadap dolar dan tingkat suku bunga. (Referensi Pustaka)

Metode/cara pengambilan data:

- a) Data kondisi kelistrikan Pulau Moti diambil dengan melakukan observasi dan wawancara langsung dengan responden dan menggunakan kuesioner sebagai bahan pertanyaan. (Lembar kuesioner lihat Lampiran A & B; Data kondisi kelistrikan Pulau Moti lihat Lampiran E).

Responden sasaran: (1) pengelola generator kelurahan/desa, (2) pemilik generator pribadi, (3) Industri rumah tangga, (4) Kantor/sarana umum, (5) Sampel masyarakat dengan profesi pekerjaan: Pegawai negeri sipil (PNS), Pedagang, Petani, Nelayan.

- b) Data kondisi social ekonomi diambil dengan melakukan observasi dan wawancara langsung dengan responden dan menggunakan kuesioner sebagai bahan pertanyaan. (Lembar kuesioner lihat Lampiran A; Data kondisi social ekonomi lihat Tinjauan Pustaka sub pokok bahasan 2.1.4 s/d 2.1.8).

Responden sasaran : (1) Sampel masyarakat dengan profesi pekerjaan: Pegawai negeri sipil (PNS), Pedagang, Petani, Nelayan, (2) Kantor kelurahan/Desa, (3) Kantor Kecamatan.

- c) Data potensi Energi Terbarukan seperti data Radiasi Matahari harian (*Daily solar radiation*) dan data kecepatan angin dapat di minta di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) setempat. atau dengan login di website NASA *Surface meteorology and Solar Energy*: <http://eosweb.larc.nasa.gov>. dengan menggunakan letak koordinat tempat penelitian sebagai password (Lihat Lampiran C & D).

d) Sedangkan data-data komponen PLH dengan harga satuan unitnya, harga bahan bakar minyak, nilai tukar rupiah terhadap dolar dan suku bunga, dapat diambil melalui referensi pustaka.

Data komponen PLH (Lihat Lampiran F); Data harga bahan bakar minyak di Pulau Moti (Lihat Lampiran E); Nilai tukar rupiah (Lihat Lampiran G); Suku bunga (Lihat Lampiran H).

3.3 Pengolahan Data

3.3.1 Perhitungan Beban Listrik Harian Pulau Moti

Dalam pembuatan perkiraan beban listrik harian Pulau Moti, data kondisi kelistrikan yang diambil kemudian dikelompokkan sesuai kelompok beban masing-masing seperti pada Tabel. 3.1 dan perhitungan energi beban (E_B) digunakan persamaan (3.1).

$$E_B \text{ (Wh)} = \text{Daya beban (Watt)} \times \text{Lama pemakaian beban (hour)} \quad (3.1)$$

Tabel. 3.1 Perkiraan Baban Listrik Harian Pulau Moti

| NO | Unit | Jenis Peralatan | Kuantitas | Faktor Pengali | Daya (W) | Rata-rata Pemakaian (Jam) | Energi Wh |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------|----------------|----------|---------------------------|-----------|
| 1 | Perumahan (988 Rumah) | Lampu Ruang Umum | 3 | 988 | 20 | 3 | 177840 |
| | | Lampu Ruang Khusus | 4 | 988 | 7 | 12 | 331968 |
| | | Televisi | 1 | 163 | 70 | 7 | 79870 |
| | | Receiver Digital | 1 | 163 | 30 | 7 | 34230 |
| | | Strika | 1 | 163 | 350 | 1 | 57050 |
| | | Radio | 1 | 766 | 30 | 2 | 45960 |
| 2 | Mesjid (10 Buah) | Lampu | 2 | 10 | 20 | 3 | 1200 |
| | | Pengeras Suara | 1 | 10 | 30 | 2.5 | 750 |
| 3 | Musallah/ TPA/TPQ (8 Buah) | Lampu | 1 | 8 | 10 | 3 | 240 |
| | | Pengeras Suara | 1 | 8 | 30 | 2.5 | 600 |
| 4 | Puskesmas/Polindes (6 Buah) | Lampu | 2 | 6 | 20 | 9 | 2160 |
| 5 | Kantor (6 Buah) | Lampu | 2 | 6 | 20 | 9 | 2160 |
| 6 | Sekolah (16 Buah) | Lampu | 2 | 16 | 10 | 8 | 2560 |
| 7 | Penerangan Jalan (6 Kelurahan) | Lampu | 10 | 6 | 20 | 12 | 14400 |
| 8 | Pertukangan (6 Rumah) | Alat Listrik | 1 | 6 | 750 | 4 | 18000 |
| JUMLAH Energi Beban Harian (Wh) | | | | | | | 768988 |
| JUMLAH Energi Beban Harian (kWh) | | | | | | | 770 |

(Sumber : Olahan data survey, 2014)

Nilai pemakaian energi dalam satuan Watt-jam (Wh) dari unit beban, kemudian di jabarkan sesuai dengan jam pemakaian dalam sehari (24 jam). Hasil akhir dari tabulasi ini seperti pada Tabel.3.2.

Tabel. 3.2 Hasil Tabulasi Konsumsi Energi Beban Harian per jam

| Hour | Load (kWh) | Hour | Load (kWh) |
|---------|------------|------------------------|---------------------|
| 00 - 01 | 28,9 | 14 - 15 | 16,8 |
| 01 - 02 | 28,9 | 15 - 16 | 17,1 |
| 02 - 03 | 28,9 | 16 - 17 | 16,3 |
| 04 - 05 | 29,6 | 17 - 18 | 51,5 |
| 05 - 06 | 57,4 | 18 - 19 | 88,9 |
| 06 - 07 | 23,3 | 19 - 20 | 105,2 |
| 07 - 08 | 0,8 | 20 - 21 | 104,4 |
| 08 - 09 | 5,3 | 21 - 22 | 45,2 |
| 09 - 10 | 5,3 | 22 - 23 | 45,2 |
| 10 - 11 | 5,3 | 23 - 24 | 28,9 |
| 11 - 12 | 5,3 | Total KWh | 768.99 ≈ 770 |
| 12 - 13 | 1,1 | Rata rata KWh | 32,04 |
| 13 - 14 | 0,8 | Beban Puncak KW | 105,19 |
| | | Beban Dasar KW | 0,8 |

(Sumber : Olahan data survey, 2014)

Hasil Akhir dari perhitungan ini adalah grafik perkiraan beban harian Pulau Moti, total nilai beban harian (kWh), nilai beban puncak (kW), dan nilai rata-rata beban harian dalam setahun (kWh/yr).

3.3.2 Perhitungan Kapasitas Komponen PLH

1) Kapasitas Generator Diesel

Pada penelitian ini, kapasitas generator diesel dapat ditentukan dengan persamaan (3.2).

$$P_{Diesel}(t) = \frac{E_{Diesel}(t)}{\eta_{Diesel}} \times 115\% \quad (3.2)$$

Dimana;

Estimasi penambahan kapasitas sebesar 15%

P_{Diesel} : Kapasitas daya generator diesel (kW)

E_{Diesel} : Energi beban yang harus dipenuhi generator (kWh)

η_{Diesel} : Efisiensi generator diesel (asumsi = 0,9)

2) Kapasitas PV (Photovoltaic)

Dalam perhitungan kapasitas PV, beberapa parameter tetapan yang umumnya dipakai sebagai asumsi dalam perhitungan sebagai berikut:

Asumsi:

Effisiensi Batteray : 0,85

Effisiensi Inverter : 0,95

Effisiensi Maching : 1

Effisiensi BCU : 0,95

k : 1,1

Dari data radiasi matahari Pulau Moti didapatkan;

Rata-rata Radiasi (H_0) : 5,94 kWh/m²/hari

Radiasi Standar (I_0) : 1 kW/m²

Untuk menentukan kapasitas PV yang terintegrasi dengan sistem battery, *solar charge* dan inverter digunakan persamaan (3.3) dan (3.4). (Guda. dkk, 2015)

$$P_{peak} = \frac{E_{load} \times I_0 \times k}{H_0 \times \eta_b \times \eta_{inv} \times \eta_m \times \eta_{bcu}} \quad (3.3)$$

Dimana; E_{load} : Energi beban yang harus disuplai oleh PV.

Atau untuk menentukan jumlah energi *output* (E_{el}) modul PV yang digunakan, dapat di peroleh dengan persamaan (3.4).

$$E_{el} = \frac{P_{max-out} \times H_0 \times \eta_b \times \eta_{inv} \times \eta_m \times \eta_{bcu}}{k \times I_0} \quad (3.4)$$

Untuk menentukan jumlah modul (N_{PV}) digunakan persamaan (3.5).
(Chandel. dkk, 2014)

$$N_{PV} = \frac{P_{peak}}{P_{max-out}} \quad (3.5)$$

Dimana; $P_{max-out}$: Daya maximum dari modul PV yang digunakan.

3) Kapasitas Turbin Angin

Untuk menentukan kapasitas turbin angin (P_W) digunakan persamaan (2.3) dan *output* energi yang dihasilkan turbin menggunakan persamaan (2.4) pada pembahasan Wind turbin (Bab 2), sebagai berikut:

$$P_{WG} = \frac{1}{2} \rho A_r C_P V_W^3 = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 C_P V_W^3 \quad \text{dan,} \quad E_{WG}(t) = P_{WG} \times t$$

Dengan mengambil asumsi nilai C_P Turbin diameter 2 m = 0,24 dan nilai kerapatan udara (ρ) = 1,2 kg/m³.

Spesifikasi *Wind Turbin* yang digunakan dalam perhitungan/simulasi untuk menentukan Potensi energi angin di Pulau Moti adalah sebagai berikut:

a. Spesifikasi *Wind Turbin* 500 Watt.

| | |
|----------------------|----------------------------|
| System Name | : TSD-500 |
| Turbin Type | : HAWT |
| Maximum Power Output | : 500 Wp at 12 m/s above |
| Start up Wind Speed | : 1 m/s |
| Cut in Wind Speed | : 1,5 m/s |
| Survival Wind Speed | : 30 m/s |
| Generator Type | : 3-phase permanent magnet |
| Blade Diameter | : 1,6 and 2 m |
| Number of Blades | 3 blade |
| Maximum RPM | : 1000 RPM |
| Storage System | : 24 V |

b. Spesifikasi *Wind Turbin* 1 kW

| | |
|----------------|------------------|
| Description | : SW Whisper 200 |
| Abbreviation | : W200 |
| Rated power | : 1 kW DC |
| Rotor diameter | : 2,7 m |
| Rated power | : 1 kW |

Tower heights : 7,3m; 9,1m; 15,2m; 19,8m; 24,4m
 Manufacturer : Southwest Windpower
 Website : www.windenergy.com

4) Kapasitas Battery

Kapasitas battery (Ah) dapat di tentukan menggunakan persamaan (3.6).
 (Ishaq, 2013)

$$Kapasitas\ battery\ (Ah) = \frac{E_{Load} \times Days\ of\ outonom}{DOD_{max} \times \eta_{bat} \times V_{bat-nom}} \quad (3.6)$$

Pada penelitian ini diambil:

$Days\ of\ outonom = 4$ hari; $DOD_{max} = 0,75$ dan efisiensi battery = 0,85
 (Leonics, 2015).

Dan untuk menentukan jumlah battery (N_{bat}) di gunakan persamaan (3.7).

$$N_{bat} = \frac{Kapasitas\ battery\ (Ah)}{Kapasitas\ battery\ nominal\ (Ah)} \quad (3.7)$$

5) Kapasitas Inverter

Untuk menentukan kapasitas inverter yaitu dengan mempertimbangkan penambahan 15% dari kapasitas daya yang di layani ($115\% = 1,15$) dengan asumsi nilai efisiensi inverter 0,95. Kapasitas inverter dapat ditentukan dengan persamaan (3.8). (Purwadi. dkk, 2012)

$$P_{inv} = \frac{P_{peak\ load} \times 1.15}{\eta_{inv}} \quad (3.8)$$

Dimana $P_{peak\ load}$: beban puncak harian (kW)

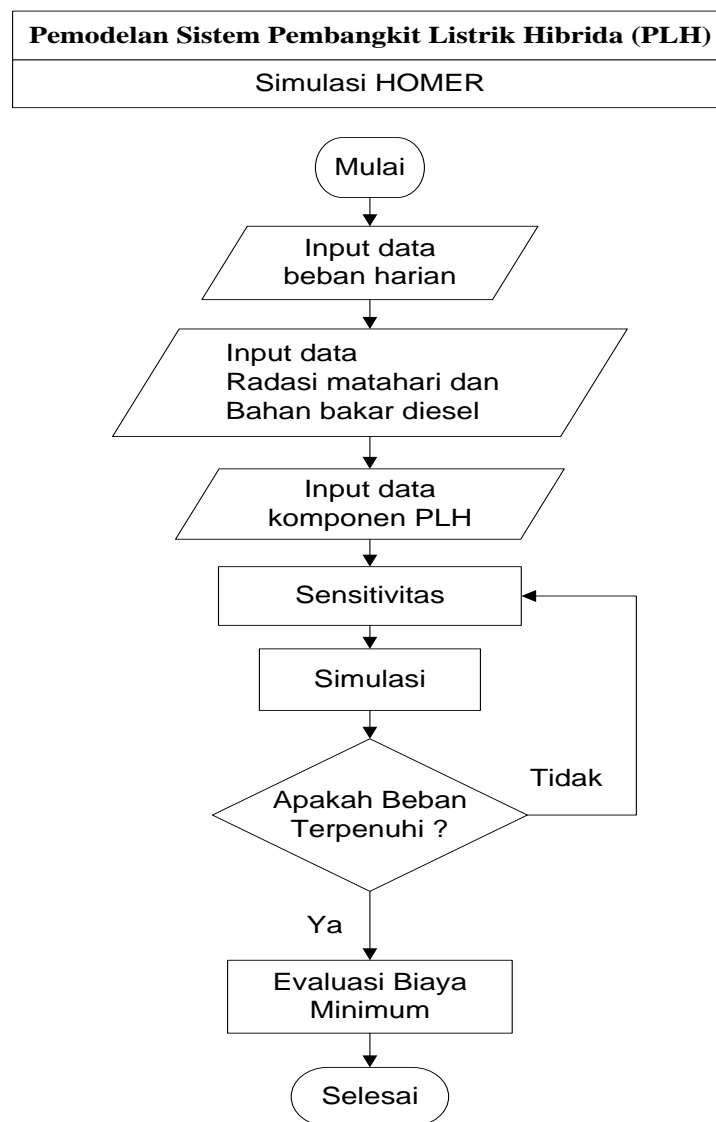
3.3.3 Penetapan Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (PLH)

Penetapan konfigurasi sistem pembangkit listrik hibrida di Pulau Moti yaitu dengan mempertimbangkan kondisi kelistrikan dan ketersediaan potensi energi yang potensial yang dimiliki, maka terdapat 5 (lima) model konfigurasi

pembangkit listrik hibrida yang nanti dipakai dalam simulasi menggunakan *software HOMER* yaitu:

1. Konfigurasi Diesel(100%)
2. Konfigurasi PV(100%)
3. Konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%)
4. Konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%)
5. Konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%)

3.3.4 Simulasi HOMER dan Validasi



Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi *HOMER*

Langkah-langkah simulasi dengan menggunakan *software HOMER* dapat di lihat pada diagram alir Gambar 3.3.

Selain perhitungan menggunakan *software HOMER*, perhitungan juga di lakukan secara teoritis (manual) untuk validasi nilai *net present cost (NPC)* tiap model konfigurasi sistem. Langkah-langkah dan perhitungan teoritis (manual) dapat di lihat pada Lampiran I.

3.4 Tahap Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini, hasil yang dilaporkan adalah

1. Kondisi kelistrikan Pulau Moti
2. Perkiraan profil beban listrik Pulau Moti
3. Potensi energi angin di Pulau Moti
4. Potensi energi matahari di Pulau Moti
5. Hasil perhitungan; perbandingan parameter hasil simulasi *HOMER* dan validasi nilai *net present cost (NPC)* model konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida: Konfigurasi Diesel(100%); Konfigurasi PV(100%); Konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%); Konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%); dan Konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%).
6. Sistem konfigurasi pilihan terbaik.

3.5 Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini kesimpulan yang di buat berdasarkan permasalahan dan tujuan penelitian, kemudian akan menjadi saran dan masukan buat masyarakat, pemerintah Pulau Moti, dan Pemda Kota Ternate dalam pengambilan kebijakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik ke depan di Pulau Moti.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Kelistrikan Pulau Moti

4.1.1 Pemakaian Generator Diesel

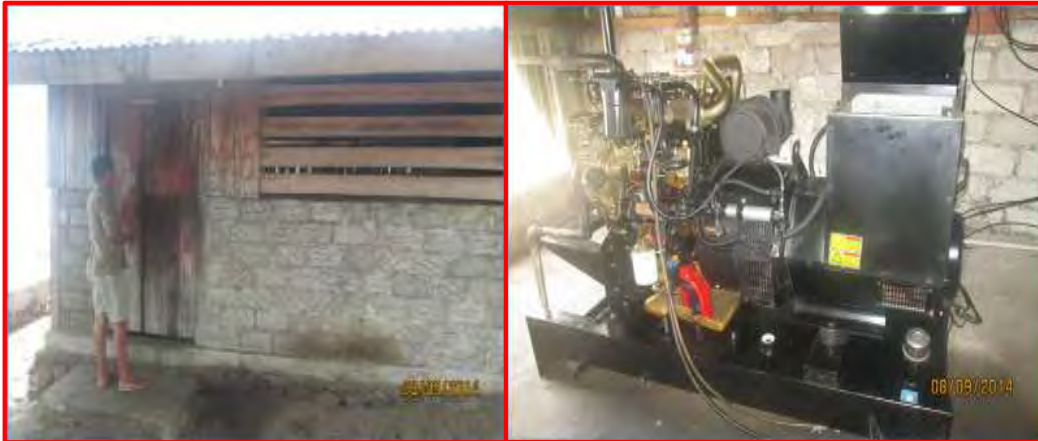
Dari hasil survey september 2014; kondisi kelistrikan di Pulau Moti untuk setiap kelurahan (Enam kelurahan) telah terpasang generator diesel dengan kapasitas yang bervariasi. Pengadaan generator diesel ini adalah bantuan dari Pemerintah Pusat yaitu Program Pengembangan Kecamatan (PPK) di mulai tahun 2002, 2004 dan tahun 2007. Kemudian program pemenuhan kelistrikan dilanjutkan pada tahun 2011, 2012 dan 2014.

Pengelolaan generator tersebut diberikan tanggungjawab ke Aparatur Pemerintah Kelurahan/Desa untuk mengoperasikannya. Ada pun juga masyarakat yang berpenghasilan cukup telah memiliki genset pribadi, selain sebagai pemenuhan kebutuhan listriknya, juga untuk mengantisipasi jika generator diesel Kelurahan/Desa tidak beroperasi atau rusak.

Gambar 4.1 dan 4.2 memperlihatkan keadaan generator diesel di kelurahan Takofi dan Tafamutu, yang masih beroperasi.



Gambar 4.1 Rumah Generator Diesel (kiri) dan Generator Diesel Kelurahan Takofi (kanan), Bantuan Pemerintah Tahun 2002
(Sumber: Data survey, 2014)



Gambar 4.2 Rumah Generator Diesel (kiri), Generator Diesel Kelurahan Tafamutu (kanan), Bantuan Pemerintah Tahun 2012.
(Sumber: Data survey, 2014)

Dari 6 (enam) kelurahan yang terpasang generator diesel, terdapat 2 (dua) generator diesel yang sudah rusak yaitu di kelurahan Tafaga dengan kapasitas 30 kW dan kelurahan Figur dusun Guramadehe dengan kapasitas 10 kW. Dengan kerusakan ini sebagian masyarakat hanya mengandalkan beberapa rumah warga yang memiliki genset pribadi untuk dapat di sambungkan ke rumah mereka sebagai penerangan dan sebagian lagi lebih memilih menggunakan lampu minyak tanah.

Gambar 4.3 menggambarkan salah satu kondisi generator diesel yang dalam keadaan rusak, tidak beroperasi yaitu di dusun Guramadehe.



Gambar 4.3 Generator Diesel Dusun Guramadehe Kelurahan Figur dalam kondisi rusak, tidak beroperasi. (Sumber: Data survey, 2014)

Pada Tahun 2014, Kecamatan Pulau Moti mendapat bantuan dari Pemerintah Kota Ternate berupa 1 (satu) unit generator diesel berkapasitas 60 kVA/48 kW. Pengoperasian generator diesel ini direncanakan akan di mulai pada akhir tahun 2015 dan lokasi penempatan generator diesel ini berada di kelurahan Tadenas Pulau Moti. Gambar 4.4 Memperlihatkan generator diesel bantuan Pemda Kota Ternate tahun 2014.



Gambar 4.4 Generator Diesel 60 kVA/48 kW, Bantuan Pemda Kota Ternate Tahun 2014 (Sumber: Data survey, 2014)

Kondisi kelistrikan setiap kelurahan di Pulau Moti di sajikan pada tabel 4.1, jumlah generator diesel milik kelurahan/umum sebanyak 6 unit dengan kapasitas 30 kW masing-masing di kelurahan Takofi, Figur, dan Tadenas; 48 kW di kelurahan Tafamutu, di kelurahan Kota Moti berkapasitas 150 kW, dan di Dusun Nanas berkapasitas 5 kW, Jam operasi generator diesel tersebut antara 3,5 – 5 jam/hari. Jumlah rumah yang menggunakan listrik dengan iuran bulanan sebanyak 752 rumah dan jumlah rumah tak berlistrik sebanyak 35 rumah. Untuk pemakaian genset pribadi, terdapat 5 genset pribadi yang menjual jasa listrik ke pelanggan dengan kapasitas antara 3 – 10 kW dan genset pribadi untuk pemakaian sendiri sebanyak 215 unit genset dengan kapasitas antara 0,9 – 3 kW.

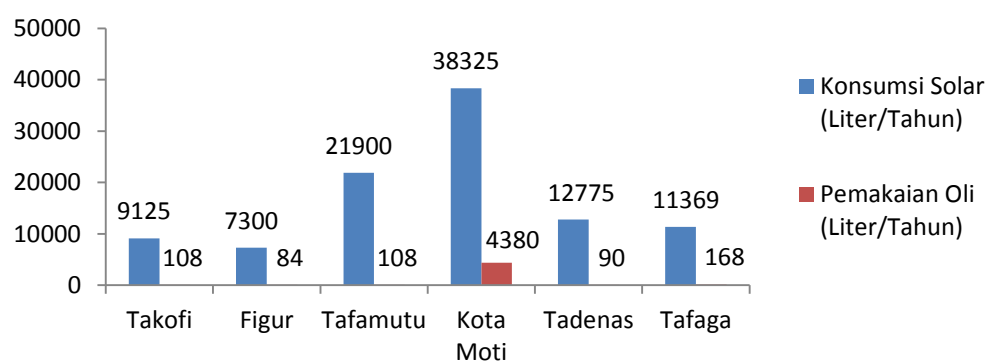
Tabel 4.1 Kondisi Kelistrikan di Pulau Moti

| No | Kelurahan | Kapasitas Generator/ Jam Operasi per-hari/ kepemilikan | Jumlah Pelanggan | Rumah tak berlistrik | Genset pribadi pakai sendiri |
|----|---------------|--|------------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | Takofi | 30 kW/ 5 Jam/ Umum | 95 Rumah | 7 Rumah | 13 Rumah; @ 3 kW |
| 2 | Figur | 30 kW/ 4 Jam/ Umum | 57 Rumah | 16 Rumah | 15 Rumah @ 3 kW |
| 3 | Tafamutu | 48 kW/ 5 Jam/ Umum | 160 Rumah | 0 | 17 Rumah @ 3 kW 1 Rumah 0,9 kW |
| 4 | Kota Moti | 150 kW/ 3,5 Jam/ Umum | 285 Rumah | 0 | 73 Rumah @ 3 kW 82 Rumah @ 0,9 kW |
| 5 | Tadenas | 30 kW/ 5 Jam/ Umum | 65 Rumah | 2 Rumah | 7 Rumah @ 3 kW |
| | | 5 kW/ 3,5 Jam/ Umum | 20 Rumah | | |
| 6 | Tafaga | 10 kW/ 4 Jam/ Pribadi | 30 Rumah | 10 Rumah | 7 Rumah @ 3 kW |
| | | 3 kW/ 4 Jam/ Pribadi | 5 Rumah | | |
| | | 3 kW/ 4 Jam/ Pribadi | 12 Rumah | | |
| | | 10 kW/ 4 Jam/ Pribadi | 13 Rumah | | |
| | | 10 kW/ 4 Jam/ Umum | 10 Rumah | | |
| 7 | JUMLAH | | 752 Pelanggan listrik | 35 Rumah tak berlistrik | 215 Rumah menggunakan genset pribadi |

Sumber : Olahan hasil survey, 2014

4.1.2 Konsumsi BBM dan Biaya Perawatan Generator Diesel

Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis solar dan oli setiap kelurahan di Pulau Moti untuk generator diesel umum dan generator diesel milik pribadi yang menjual jasa listrik ke masyarakat, dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Konsumsi BBM Jenis Solar dan Oli di Pulau Moti

Biaya perawatan dan konsumsi BBM Generator Diesel di Pulau Moti dapat di lihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Biaya Konsumsi BBM Solar dan Oli untuk Generator Diesel Pulau Moti

| No | Kelurahan | Kapasitas Generator/ Jumlah Pelanggan/ Jam Operasi per-hari | Konsumsi Solar Liter/Tahun | Konsumsi Oli Liter/Tahun | Biaya Solar + Oli (Rp/ Tahun) | Biaya Perawatan (Rp/Tahun) |
|---|-----------|---|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Takofi | 30 KW/ 95 Rumah/ 5 Jam | 9.125 | 108 | 95.030.000 | 14.000.000 |
| 2 | Figur | 30 KW/ 57 Rumah/ 4 Jam | 7.300 | 84 | 68.010.000 | 9.838.333 |
| 3 | Tafamutu | 48 KW/ 160 Rumah/ 5 Jam | 21.900 | 108 | 173.780.000 | 1.100.000 |
| 4 | Kota Moti | 150 KW/ 285 Rumah/ 3,5 Jam | 38.325 | 4.380 | 286.920.000 | 24.000.000 |
| 5 | Tadenas | 30 KW/ 65 Rumah/ 5 Jam | 7.300 | 54 | 67.590.000 | 5.000.000 |
| | | 5 KW/ 20 Rumah/ 3,5 Jam | 5.475 | 36 | 50.535.000 | 2.000.000 |
| 6 | Tafaga | 10 KW/ 30 Rumah/ 4 Jam | 3.285 | 36 | 34.110.000 | 1.000.000 |
| | | 3 KW/ 5 Rumah/ 4 Jam | 1.852 | 36 | 15.272.000 | 300.000 |
| | | 3 KW/ 12 Rumah/ 4 Jam | 1.852 | 24 | 15.272.000 | 300.000 |
| | | 10 KW/ 13 Rumah/ 4 Jam | 2.190 | 36 | 21.150.000 | 500.000 |
| | | 10KW/ 10 Rumah/ 4 Jam | 2.190 | 36 | 21.150.000 | 500.000 |
| 7 | JUMLAH | | 100.794 | 4.938 | 848.819.000 | 58.538.333 |
| Catatan : Perhitungan hanya di khususkan pada generator diesel umum dan generator diesel pribadi yang menjual listriknya ke masyarakat. | | | | | | |

(Sumber: Olahan data survey,2014)

Dari tabel 4.2 dapat diketahui besar konsumsi BBM jenis solar untuk generator diesel di Pulau Moti adalah 100.794 Liter/ tahun dan pemakaian oli sebanyak 4.938 Liter/tahun, dengan total biaya pengeluaran per tahun untuk pembelian BBM solar dan oli sebesar Rp.848.819.000,-. biaya perawatan generator diesel per tahun adalah Rp.58.538.333,-. Sehingga total pengeluaran untuk konsumsi BBM dan perawatan generator diesel adalah Rp.907.357.333,-.

Nilai total pengeluaran diatas dihitung berdasarkan jumlah jam operasi generator diesel di Pulau Moti yaitu 3,5 - 5 jam/hari.

4.2 Profil Beban

Perhitungan beban dilakukan dengan memperhatikan perkiraan operasi berbagai jenis beban/pelanggan yang didasarkan pada pengalaman kondisi operasi berbagai sistem pembangkit listrik sejenis yang telah terpasang dan tinjauan hasil survey di lokasi dengan membuat pola operasi 24 jam.

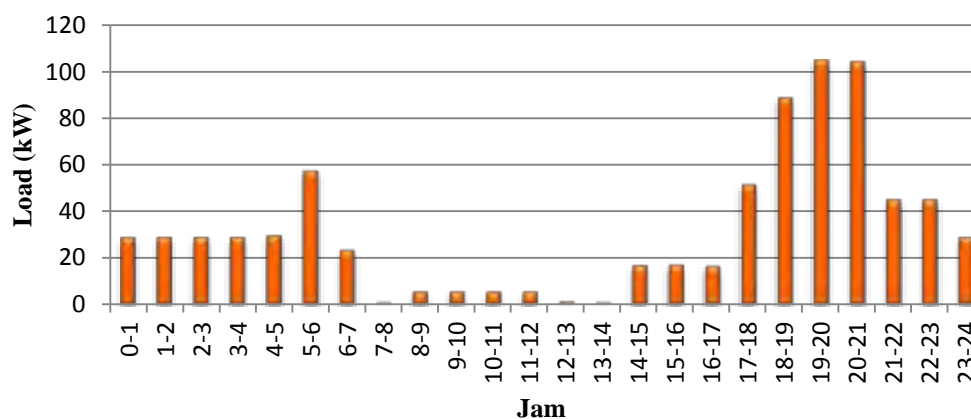
Tabel 4.3 menunjukkan estimasi penggunaan beban listrik per rumah atau per kepala keluarga (KK) di Pulau Moti.

Tabel 4.3 Estimasi Penggunaan Beban Listrik per Rumah.

| Jenis Peralatan | Kuantitas | Daya (Watt) | Rata-rata Pemakaian (jam/hari) | Kebutuhan Energi (Wh) |
|--------------------|-----------|-------------|--------------------------------|-----------------------|
| Lampu Ruang Umum | 3 | 20 | 3 | 180 |
| Lampu Ruang Khusus | 4 | 7 | 12 | 336 |
| Televisi | 1 | 70 | 7 | 490 |
| Receiver Digital | 1 | 30 | 7 | 210 |
| Strika | 1 | 350 | 1 | 350 |
| Radio | 1 | 30 | 2 | 60 |
| Total | | 507 | | 1.626 |

(Sumber : Olahan data survey, 2014; Tanoto, 2010; diolah kembali)

Dari Tabel 4.3 dapat di lihat bahwa besar energi beban listrik yang digunakan 1 (satu) buah rumah per hari adalah sebesar 1.626 Wh/hari atau 1.626 kWh/hari



Gambar 4.6 Profil Beban Listrik Pulau Moti
(Sumber : Olahan data survey, 2014)

Gambar 4.6 menunjukkan profil beban listrik Pulau Moti untuk 988 buah rumah, 10 buah mesjid, 8 buah musallah/TPA/TPQ, 6 buah puskesmas/polindes, 6 buah kantor lurah, 16 buah sekolah, penerangan jalan di 6 kelurahan dan 4 rumah pertukangan, profil ini di buat dengan asumsi Pulau Moti memiliki listrik dengan pola operasi 24 jam. Hasil perhitungan di peroleh nilai beban harian sebagai berikut:

Nilai beban harian:

Total kWh: 768,99 \approx 770; Rata rata kWh: 32,04; Beban Puncak kW: 105,19;

Beban Dasar kW: 0,8

Dari simulasi *HOMER* dengan menggunakan profil pada Gambar 4.6 di peroleh nilai beban harian (tahunan) sebagai berikut:

Rata-rata energi beban harian dalam setahun sebesar = 763 kWh

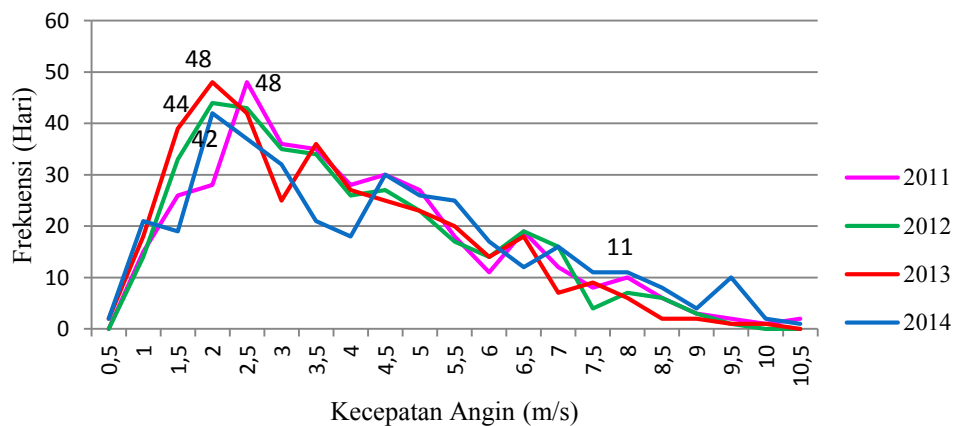
Beban rata-rata per tahun sebesar = 31,8 kW

Beban Puncak yang mungkin terjadi dalam satu tahun sebesar = 187 kW

sehingga Total Energi Beban Listrik yang harus dipenuhi di Pulau Moti dalam setahun sebesar:

Energi beban rata-rata pertahun = 763 kWh/hari \times 365 hari = \pm 278.495 kWh/hari

4.3 Potensi Energi Angin di Pulau Moti



Gambar 4.7 Frekuensi Kecepatan Angin Pulau Moti Tahun 2011-2014
(Sumber : Olahan Data Survey, BMKG, 2015)

Potensi energi angin di Pulau Moti umumnya tidak besar, frekuensi kecepatan angin terbesar berada pada rentang kecepatan 1.5 – 3.5 m/s yaitu dengan durasi 32 – 48 hari/tahun. Gambar 4.7 menampilkan frekuensi kecepatan angin yang terjadi sepanjang tahun 2011 - 2014 di Pulau Moti.

Dari data pada Gambar 4.7 di peroleh rata-rata kecepatan angin di Pulau Moti per tahun sebesar 3,8 m/s, namun nilai ini bukan kecepatan angin yang paling sering terjadi. Klasifikasi kecepatan angin di Pulau Moti masuk dalam kategori skala kecil untuk nilai kecepatan angin rata-ratanya, dan kategori kurang potensial untuk kecepatan angin yang paling sering terjadi (frekuensi terbesar). Tabel 4.4 menyajikan status data pengukuran angin di Indonesia.

Tabel. 4.4 Skala Potensi Angin Rata-rata di Indonesia

| Kelas | Kecepatan Angin (m/s) | Daya Spesifik (W/m ²) | Jumlah Lokasi | | Daerah / Wilayah |
|---|--------------------------|--------------------------------------|---------------|------|--|
| | | | 30 m | 50 m | |
| Kurang Potensial | < 3,0 | < 45 | 66 | 55 | Sumbar, Bengkulu, Jambi, Jateng, NTB, Kalsel, NTT, Sultra, Sulut, Maluku, |
| Potensi rendah (Skala Kecil) | 3,0 – 4,0 | < 75 | 34 | 29 | Lampung,DIY, Bali,Jatim,Jateng, NTB, Kalsel, NTT,Sultra, Sulut, Sulteng, Sumut, Sulbar |
| Potensi Menengah (Skala Menengah) | 4,1 – 5,0 | 75 - 150 | 34 | 34 | Bengkulu, Banten, DKI, Jateng, Jatim, NTB, NTT, Sultra, Sulteng, Gorontalo, Sulsel |
| Potensi Bagus /Tinggi, (Skala Besar) | > 5,0 | > 150 | 19 | 35 | DIY, DKI, Jateng, Jabar, Banten, Sulsel, NTB, NTT, Sulut |

Data Angin LAPAN

Sumber : (Samuel, 2013; GEF, 2013; Sitompul, 2011)

Perhitungan potensi energi angin di pulau moti selanjutnya untuk mengevaluasi dan mengetahui daya keluaran dari *wind turbin* atas ketersediaan kecepatan angin yang ada. Kapasitas daya turbin yang di pakai sebagai evaluasi adalah *Wind Turbin* 500 Watt dan 1 kW dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

Spesifikasi Wind Turbin 500 Watt

System Name : TSD-500

Turbin Type : HAWT

| | |
|----------------------|----------------------------|
| Maximum Power Output | : 500 Wp at 12 m/s above |
| Start up Wind Speed | : 1 m/s |
| Cut in Wind Speed | : 1,5 -2,5 m/s |
| Survival Wind Speed | : 33 m/s |
| Generator Type | : 3-phase permanent magnet |
| Blade Diameter | : 1,6 and 2 m |
| Number of Blades | 3 blade |
| Maximum RPM | : 1000 RPM |
| Storage System | : 24 V |

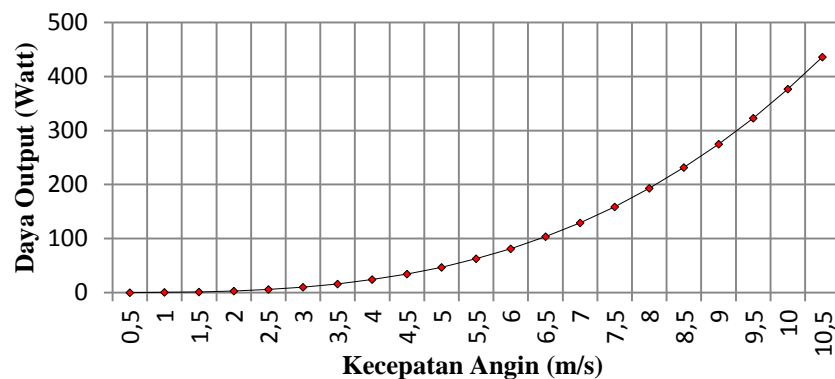
Spesifikasi *Wind Turbin 1 KW*

| | |
|----------------|--|
| Description | : SW Whisper 200 |
| Abbreviation | : W200 |
| Rated power | : 1 kW DC |
| Rotor diameter | : 2,7 m |
| Rated power | : 1 kW |
| Tower heights | : 7,3m; 9,1m; 15,2m; 19,8m; 24,4m |
| Manufacturer | : Southwest Windpower |
| Website | : www.windenergy.com |

Perhitungan untuk mendapatkan daya *output wind turbin* menggunakan persamaan (2.3).

$$P_{WG} = \frac{1}{2} \rho A_r C_P V_W^3 = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 C_P V_W^3$$

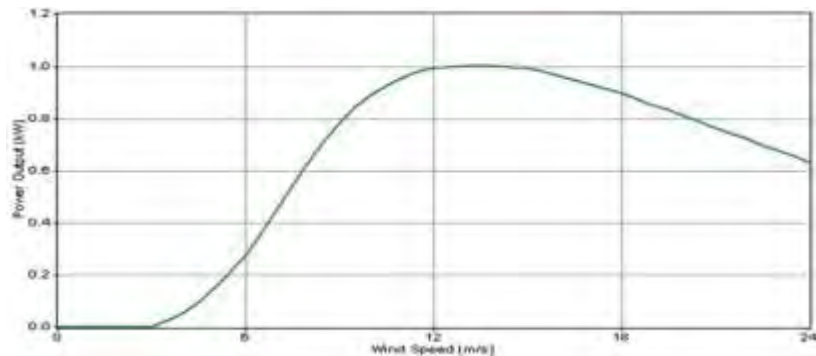
(Asumsi nilai C_P Turbin diameter 2 m = 0,24 dan nilai kerapatan udara (ρ) = 1,2 kg/m³)



Gambar. 4.8 *Daya Output Turbin Angin (TSD-500/HAWT) Kapasitas 500 Watt* (Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.3))

Gambar 4.8 merupakan profil daya *output* dari *wind turbin* 500 Watt yang di hitung menggunakan persamaan (2.3).

Perhitungan daya *output wind turbin* dengan kapasitas 1 kW di lakukan dengan menggunakan *software HOMER* dan hasilnya seperti di tunjukan pada Gambar 4.9.



Gambar. 4.9 Daya *Output* Turbin Angin (SW Whisper 200) Kapasitas 1 kW (Hasil simulasi *HOMER*)

Dari Gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat bahwa untuk dapat menghasilkan daya *output* turbin sebesar 50 % dari kapasitasnya di butuhkan kecepatan angin yang lebih besar yaitu ≥ 8 m/s. Sementara angin dengan kecepatan 8 m/s di Pulau Moti dalam setahun hanya berdurasi 11 hari.

Tabel frekuensi kecepatan angin Pulau Moti kemudian digunakan untuk menentukan jumlah energi per tahun hasil produksi *wind turbin* yang di pakai dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$E_{WG}(t) = P_{WG} \times t$$

Dimana; E_{WG} : Energi *output wind turbin* (kWh); P_{WG} : Daya *output* generator turbin pada kecepatan angin tertentu (kW); dan t : Durasi waktu kecepatan angin. (1 hari = 24 jam; 1 tahun = 8760 jam).

Hasil perhitungan *output energi* dari *wind turbin* dengan kapasitas 500 Watt dan 1 kW untuk durasi kecepatan angin yang terjadi di Pulau Moti tahun 2011 - 2014 di perlihatkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Energi Output Wind Turbin 500 Watt dan 1 kW Untuk Durasi Kecepatan Angin di Pulau Moti Tahun 2011 - 2014.

| Kec Angin (m/s) | Energi output turbin 500 Watt | | | | Energi output turbin 1 kW | | | |
|--------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2011 (kWh) | 2012 (kWh) | 2013 (kWh) | 2014 (kWh) | 2011 (kWh) | 2012 (kWh) | 2013 (kWh) | 2014 (kWh) |
| 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0,14 | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,5 | 0,79 | 1,01 | 1,19 | 0,58 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2,03 | 3,18 | 3,47 | 3,04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2,5 | 6,78 | 6,08 | 5,93 | 5,23 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 8,79 | 8,55 | 6,1 | 7,81 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3,5 | 13,57 | 13,18 | 13,96 | 8,14 | 21 | 20,4 | 21,6 | 12,6 |
| 4 | 16,21 | 15,05 | 15,63 | 10,42 | 36,28 | 33,69 | 34,99 | 23,33 |
| 4,5 | 24,72 | 22,25 | 20,6 | 24,72 | 69,84 | 62,85 | 58,2 | 69,84 |
| 5 | 30,52 | 26 | 26 | 29,39 | 96,55 | 82,24 | 82,24 | 92,97 |
| 5,5 | 27,08 | 25,58 | 30,09 | 37,61 | 90,72 | 85,68 | 100,8 | 126 |
| 6 | 21,49 | 27,35 | 27,35 | 33,21 | 73,65 | 93,74 | 93,74 | 113,83 |
| 6,5 | 47,19 | 47,19 | 44,7 | 29,8 | 161,88 | 161,88 | 153,36 | 102,24 |
| 7 | 37,22 | 49,63 | 21,71 | 49,63 | 127,58 | 170,11 | 74,42 | 170,11 |
| 7,5 | 30,52 | 15,26 | 34,34 | 41,97 | 103,48 | 51,74 | 116,42 | 142,29 |
| 8 | 46,3 | 32,41 | 27,78 | 50,93 | 150,24 | 105,16 | 90,14 | 165,26 |
| 8,5 | 33,32 | 33,32 | 11,11 | 44,43 | 102,09 | 102,09 | 34,03 | 136,12 |
| 9 | 19,78 | 19,78 | 13,18 | 26,37 | 56,16 | 56,16 | 37,44 | 74,88 |
| 9,5 | 15,51 | 7,75 | 7,75 | 77,53 | 40,36 | 20,18 | 20,18 | 201,84 |
| 10 | 9,04 | 0 | 9,04 | 18,09 | 21,36 | 0 | 21,36 | 42,72 |
| 10,5 | 20,94 | 0 | 0 | 10,47 | 44,44 | 0 | 0 | 22,22 |
| Total kWh | 411,93 | 353,68 | 320,11 | 509,56 | 1.195,68 | 1.045,96 | 938,95 | 1.496,28 |
| Rata rata | 399 kWh | | | | 1.169 kWh | | | |

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa saat kecepatan angin 0,5 – 3 m/s turbin angin 1 kW belum dapat menghasilkan energi listrik, hal ini terjadi karena turbin angin tersebut di desain pada tingkat kecepatan angin di atas 3 m/s (*cut in wind speed* \geq 3 m/s), sebaliknya untuk turbin angin 500 Watt telah menghasilkan energi listrik sebesar 0,13 – 8,79 kWh karena di desain pada tingkat kecepatan angin rendah (*cut in wind speed*: 1 – 1,5 m/s). Hasil *output* energi listrik turbin angin terbesar di peroleh pada tingkat kecepatan angin 7 m/s berdurasi 16 hari (tahun 2012 dan 2014) dengan masing-masing turbin angin 500 Watt menghasilkan energi listrik sebesar 49,63 kWh dan turbin angin 1 kW sebesar 170,11 kWh; hasil

keduanya berbeda karena nilai koefisien daya (C_p) dan diameter rotor/blade turbin angin 500 Watt lebih kecil dari pada turbin angin 1 kW. Pada kecepatan angin 10,5 m/s (tahun 2012 dan 2013) kedua jenis turbin tidak menghasilkan energi listrik karena rekaman data kecepatan angin pada tahun tersebut tidak terjadi angin dengan tingkat kecepatan $\geq 10,5$ m/s.

Hasil perhitungan pada Tabel 4.5 di dapatkan total energi rata-rata per tahun untuk turbin dengan kapasitas 500 Watt dan 1 kW berturut-turut sebesar 399 kWh/tahun dan 1169 kWh/tahun.

Untuk memenuhi energi beban (maximal) Pulau Moti 770 kWh/hari atau 280.680,6 kWh/tahun, maka dibutuhkan *wind turbin* 500 kW dan 1 kW sebanyak:

Turbin angin 500 Watt: $280.680,6 \text{ kWh} / 399 \text{ kWh} = 703,5$ unit

Turbin angin 1 kW: $280.680,6 \text{ kWh} / 1.169 \text{ kWh} = 240,1$ unit

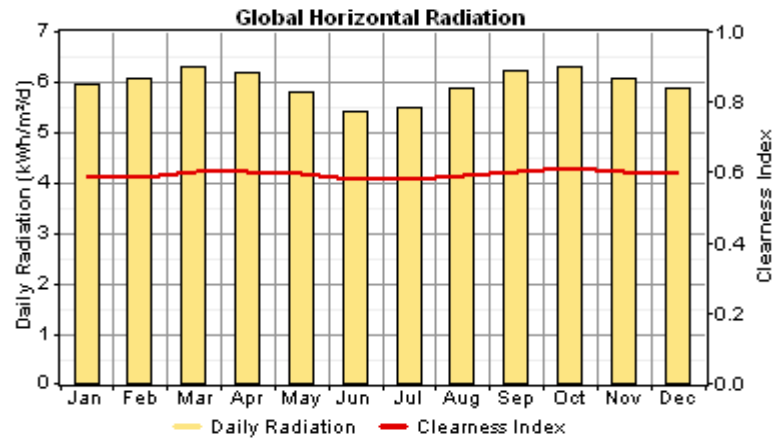
Dari data di atas, untuk memenuhi kebutuhan beban listrik di Pulau Moti dalam 1 tahun di butuhkan turbin angin dengan kapasitas 1 kW sebanyak 240 unit atau dengan kata lain di butuhkan turbin angin dengan kapasitas 240 kW. Hal ini akan membutuhkan investasi yang sangat besar dan tidak potensial untuk ukuran turbin kategori skala besar namun kecepatan angin di Pulau Moti yang sangat rendah.

Dari penjelasan di atas dapat di simpulkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan beban listrik di Pulau Moti tidak potensial untuk penerapan turbin angin.

4.4 Potensi Energi Matahari di Pulau Moti

Potensi energi surya/matahari di Pulau Moti sangat ideal untuk pemanfaatan *photovoltaic* karena nilai radiasi matahari rata-rata harian sebesar 5,96 kWh/m²/hari, dengan radiasi matahari terbesar 6,32 kWh/m²/hari, dan terendah 5,42 kWh/m²/hari. Gambar 4.10 menunjukkan radiasi matahari harian di Pulau Moti, data ini diambil dari database *NASA SMSE (Surface Meteorology and*

Solar Energy) dengan menggunakan letak koordinat Pulau Moti (DD); N: 0,456773; E: 127,410746; dengan Time Zone (GMT +07:00).



Gambar 4.10 Radiasi Matahari Harian di Pulau Moti (Sumber : NASA, 2015)

Perhitungan nilai energi keluaran modul surya untuk mengetahui besar potensi energi matahari di Pulau Moti digunakan persamaan (3.4); sebagai berikut:

$$E_{el} = \frac{P_{max-out} \times H_0 \times \eta_b \times \eta_{inv} \times \eta_m \times \eta_{bcu}}{k \times I_0}$$

Dengan mengambil nilai rata-rata radiasi matahari harian Pulau Moti (H_0) bulan januari sebesar 5,94 kWh/m²/hari; radiasi standar (I_0) = 1 kW/m²; efisiensi Battery (η_b) = 0,85; efisiensi Inverter (η_{inv}) = 0,95; efisiensi maching (η_m) = 1; efisiensi BCU (η_{bcu}) = 0,95 dan nilai k = 1,1; maka untuk kapasitas PV 1 kWp menghasilkan energi listrik sebesar:

$$E_{el} = \frac{(1 \text{ kWp}) \times (5,94 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}) \times 0,85 \times 0,95 \times 1 \times 0,95}{1,1 \times (1 \text{ kW/m}^2)}$$

$$E_{el} = 4,142 \text{ kWh} \quad (\text{Energi output PV untuk 1 jam})$$

Jumlah energi untuk 5 jam evektif PV per hari adalah:

$$E_{el} = 4,142 \text{ kWh} \times 5 = 20,71 \text{ kWh/hari}$$

Sehingga jumlah energi *output* modul surya 1 kWp bulan januari adalah:

$$E_{el} = (20,71 \text{ kWh/hari}) \times 25 \text{ hari} = 517,81 \text{ kWh/bulan}$$

Catatan :

Jumlah hari evektif PV bulan januari = total jumlah hari bulan januari – jumlah hari mendung; sehingga:

Jumlah hari evektif PV bulan januari = 31 hari – 6 hari mendung = 25 hari

Hasil perhitungan untuk bulan pebruari dan seterusnya dapat di lihat pada Tabel 4.6. Produksi energi per tahun yang di hasilkan oleh PV dengan kapasitas 1 kWp sebesar 6.238,13 kWh, dengan persentase penyinaran matahari evektif selama setahun adalah 82,2 % atau sebanyak 300 hari evektif dari 365 hari.

Tabel. 4.6 Energi Radiasi Matahari di Pulau Moti (u/ Kapasitas PV 1 kWp)

| No | Month | d | d | (d) mendung | Daily solar radiation - horizontal (kWh/m ² /d) | Energi (u/5 jam evektif PV) | |
|---|-----------|------------|-----------|-------------|---|-----------------------------|----------------|
| | | | mendung | (%) | | (kWh/d) | kWh/month |
| 1 | January | 31 | 6 | 19.4 | 5.94 | 20.71 | 517.81 |
| 2 | February | 28 | 3 | 10.7 | 6.09 | 21.24 | 530.89 |
| 3 | March | 31 | 6 | 19.4 | 6.31 | 22.00 | 550.06 |
| 4 | April | 30 | 5 | 16.7 | 6.17 | 21.51 | 537.86 |
| 5 | May | 31 | 6 | 19.4 | 5.79 | 20.19 | 504.73 |
| 6 | June | 30 | 5 | 16.7 | 5.42 | 18.90 | 472.48 |
| 7 | July | 31 | 6 | 19.4 | 5.48 | 19.11 | 477.71 |
| 8 | August | 31 | 6 | 19.4 | 5.87 | 20.47 | 511.71 |
| 9 | September | 30 | 5 | 16.7 | 6.22 | 21.69 | 542.22 |
| 10 | October | 31 | 6 | 19.4 | 6.32 | 22.04 | 550.94 |
| 11 | November | 30 | 5 | 16.7 | 6.08 | 21.20 | 530.01 |
| 12 | December | 31 | 6 | 19.4 | 5.87 | 20.47 | 511.71 |
| Jumlah hari/tahun | | 365 | 65 | | | | |
| Jumlah kWh/tahun | | | | | | | 6238.13 |
| Rata-rata kWh | | | | | 5.96 | 20.79 | 519.84 |
| Persentase hari mendung/tahun | | | | 17.8 | | | |
| Persentase hari evektif PV/tahun | | | | 82.2 | | | |
| (Olahan data survey, NASA 2015) | | | | | | | |

Perhitungan untuk menentukan besar kapasitas PV dalam pemenuhan kebutuhan energi beban Pulau Moti dengan menggunakan persamaan (3.3) adalah sebagai berikut:

Energi beban (maximal) Pulau Moti = 770 kWh/hari

Beban perjam (untuk 5 jam efektif PV) = (770 kWh/hari)/(5 jam) = 154 kWh/hari

Nilai radiasi matahari terendah (H_0) sebesar 5,42 kWh/m²/hari; radiasi standar (I_0) = 1 kW/m²; efisiensi Battery (η_b) = 0,85; efisiensi Inverter (η_{inv}) = 0,95; efisiensi matching (η_m) = 1; efisiensi BCU (η_{bcu}) = 0,95 dan nilai $k = 1,1$; maka kapasitas PV yang di butuhkan adalah :

$$P_{peak} = \frac{E_{load} \times I_0 \times k}{H_0 \times \eta_b \times \eta_{inv} \times \eta_m \times \eta_{bcu}}$$

$$P_{peak} = \frac{(770 \text{ kWh}) \times 1 \times 1.1}{(5,42 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}) \times 0,85 \times 0,95 \times 1 \times 0,95}$$

$$P_{peak} = 203,7 \text{ kW} \approx 204 \text{ kW}$$

Sehingga untuk memenuhi kebutuhan energi beban Pulau Moti sebesar 770 kWh/hari tersebut dibutuhkan panel surya dengan kapasitas 203,7 kWp (dibulatkan 204 kWp).

Spesifikasi Teknis Shinyoku Polycrystalline 300 Watt

| Spesifikasi | Keterangan |
|------------------------------------|--------------------|
| Max. Power (Pmax) | 300W |
| Max. Power Voltage (Vmp) | 36,2V |
| Max. Power Current (Imp) | 8,28A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 43,4V |
| Short Circuit Current (Isc) | 9,27A |
| Nominal Operating Cell Temp (NOCT) | 45±2°C |
| Max. System Voltage | 1000V |
| Max. Series Fuse | 16A |
| Weight | 20,65Kg |
| Dimension | 1956 x 992 x 40 mm |
| PanelSuryaJakarta.Com (2015) | |

Jika menggunakan modul surya dengan $P_{max} = 300$ Watt dengan spesifikasi teknis seperti pada tabel di atas, maka dengan menggunakan persamaan (3.5) jumlah modul yang dibutuhkan sebanyak:

$$N_{PV} = \frac{P_{peak}}{P_{max-out}}$$

$$N_{PV} = \frac{203,7 \text{ kWp}}{300 \text{ Watt}} = \approx 680 \text{ Buah Modul}$$

Dengan luas area panel/array adalah:

$$\text{Luas array} = (1,956 \times 0,992) \text{ m}^2 \times 680 = 1.319,44 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan diatas, untuk memenuhi energi beban (maximal) di Pulau Moti sebesar 770 kWh/hari maka dibutuhkan kapasitas PV sebesar 204 kWp. Jika menggunakan modul surya dengan kapasitas $P_{max} = 300 \text{ Watt}$, maka di butuhkan modul sebanyak 680 buah dengan luas area array 1.319,44 m².

Dengan demikian potensi energi radiasi matahari di Pulau Moti ditinjau dari segi pemenuhan energi beban dan luas PV array dapat memenuhi syarat untuk penerapan *photovoltaic* di pulau tersebut.

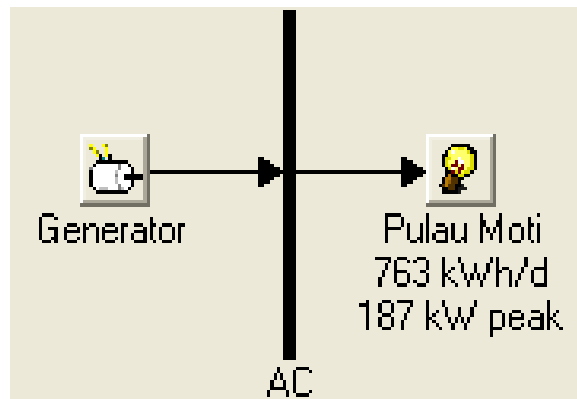
4.5 Model Konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida di Pulau Moti

Setelah mengetahui kondisi kelistrikan, profil beban, dan potensi energi terbarukan di Pulau Moti maka selanjutnya menentukan model konfigurasi sistem PLH.

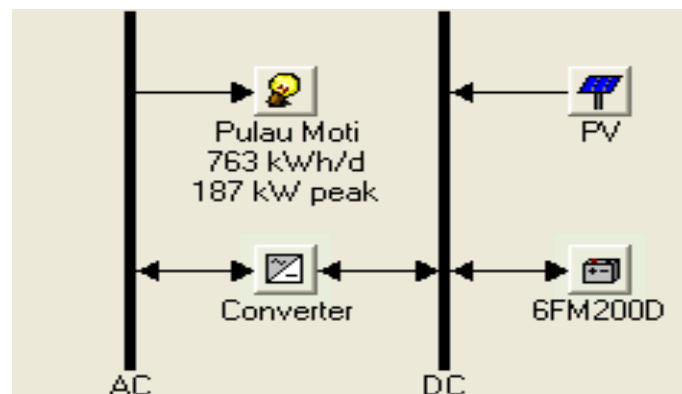
Terdapat 5 (lima) model konfigurasi sistem PLH yang akan di terapkan dan dianalisis berdasarkan ketersediaan potensi energi yang ada di Pulau Moti, persentase sistemnya sebagai berikut:

1. Diesel(100%)
2. Photovoltaik; PV(100%)
3. PV(70%) + Diesel(30%)
4. PV(50%) + Diesel(50%)
5. PV(30%) + Diesel(70%)

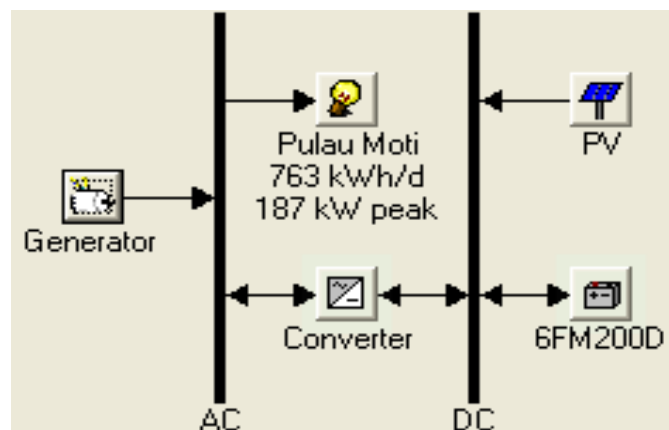
Bentuk skema dapat dilihat pada Gambar 4.11 untuk konfigurasi Generator diesel (100%); Gambar 4.12 untuk konfigurasi Photovoltaic (100%); dan Gambar 4.13 untuk konfigurasi Photovoltaic + Generator diesel.



Gambar 4.11 Skema Diesel(100%)



Gambar 4.12 Skema PV(100%)



Gambar 4.13 Skema PV + Diesel

Besar energi beban listrik yang harus di penuhi oleh masing-masing model konfigurasi dapat di lihat pada Table 4.7.

Tabel 4.7 Pemenuhan Energi Beban Listrik Tiap Model Konfigurasi

| Persentase Konfigurasi | Pemenuhan Beban oleh PV (kWh) | Pemenuhan Beban oleh Generator Diesel (kWh) |
|---------------------------------|-------------------------------|---|
| Diesel (100%) | 0 | 770 |
| PV (100%) | 770 | 0 |
| PV(70%) + Diesel(30%) | 539 | 231 |
| PV(50%) + Diesel(50%) | 385 | 385 |
| PV(30%) + Diesel(70%) | 231 | 539 |
| Catatan : Total Beban = 770 kWh | | |

Penetapan besar kapasitas komponen sistem PLH dari jumlah energi beban tiap model konfigurasi sebagai berikut:

1. Kapasitas generator diesel

Total energi beban Pulau Moti adalah ≈ 770 kWh dan besar beban puncak di Pulau Moti sebesar 105,2 kW dengan durasi waktu selama ± 1 s/d 2 jam. Generator diesel digunakan untuk memasok beban puncak pada sistem konfigurasi Diesel(100%) dan untuk pengisian battery ketika *SOC* yang rendah pada sistem konfigurasi gabungan PV+Diesel. Dengan mengambil efisiensi generator diesel $\eta_{\text{gen}} = 0,9$; dan besar energi beban yang harus di penuhi oleh generator diesel adalah sama dengan besar beban puncak di Pulau Moti, maka kapasitas generator diesel (P_{Diesel}) untuk sistem konfigurasi Diesel(100%) adalah:

$$P_{\text{Diesel}}(t) = \frac{E_{\text{Diesel}}(t)}{\eta_{\text{Diesel}}} \times 115\% = \frac{105,2 \text{ kW}}{0,9} \times 1,15 \approx 135 \text{ kW}$$

Untuk keperluan pemenuhan beban, dalam simulasi *HOMER* ditambahkan opsi sensitivitas kapasitas generator diesel yaitu 135 kW – 200 kW. Penentuan kapasitas generator diesel untuk model konfigurasi yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama.

2. Kapasitas photovoltaic (PV)

Untuk konfigurasi PV(100%), jumlah energi beban yang harus di penuhi oleh PV = 770 kWh, maka dengan mengambil nilai radiasi matahari terendah di Pulau Moti (H_0) sebesar 5,42 kWh/m²/hari; radiasi standar (I_0) = 1 kW/m²;

effisiensi battery (η_b) = 0,85; effisiensi inverter (η_{inv}) = 0,95; effisiensi machining (η_m) = 1; effisiensi BCU (η_{bcu}) = 0,95 dan nilai $k = 1,1$; maka kapasitas PV yang di butuhkan adalah:

$$P_{peak} = \frac{E_{load} \times I_0 \times k}{H_0 \times \eta_b \times \eta_{inv} \times \eta_m \times \eta_{bcu}}$$

$$P_{peak} = \frac{(770 \text{ kWh}) \times 1 \times 1.1}{(5,42 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}) \times 0,85 \times 0,95 \times 1 \times 0,95}$$

$$P_{peak} = 203,7 \text{ kW} \approx 204 \text{ kWp}$$

Untuk keperluan pemenuhan beban, dalam simulasi *HOMER* ditambahkan opsi sensitivitas kapasitas PV yaitu 204 kWp – 400 kWp. Penentuan kapasitas PV untuk konfigurasi yang lain juga dilakukan dengan cara yang sama.

3. Kapasitas battery

Dalam penelitian ini battery yang di gunakan *type Vision 6FM200F* nominal 12 V; 200 Ah atau 2,4 kWh. Dengan asumsi; *Days of outonomy* = 4 hari; $DOD_{max} = 0,75$; effisiensi battery = 0,85, beban energi yang harus di simpan oleh battery adalah kelebihan energi atau sisa energi dari PV dan generator diesel setelah memasok energi ke beban saat jam operasinya.

Untuk konfigurasi PV(100%), energi yang harus disimpan oleh battery adalah sama dengan jumlah energi yang harus dipenuhi oleh sistem PV(100%) yaitu sebesar 770 kWh = 770.000 Wh, maka kapasitas battery;

$$Kapasitas \text{ battery (Ah)} = \frac{E_{Load} \times Days \text{ of outonom}}{DOD_{max} \times \eta_{bat} \times V_{bat-nom}}$$

$$Kapasitas \text{ battery (Ah)} = \frac{770.000 \text{ Wh} \times 4}{0,75 \times 0,85 \times 12 \text{ Volt}} = 402.614,38 \text{ Ah}$$

Dan jumlah battery yang dibutuhkan adalah sebanyak:

$$N_{bat} = \frac{\text{Kapasitas battery (Ah)}}{\text{Kapasitas battery nominal (Ah)}} = \frac{402.614,38 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} \approx 2014 \text{ unit}$$

Untuk keperluan pemenuhan beban, dalam simulasi *HOMER*, ditambahkan opsi sensitivitas kapasitas/jumlah battery yaitu 2014 unit – 2514 unit. Jumlah battery untuk konfigurasi lain dapat dihitung dengan cara yang sama.

4. Kapasitas converter

Kapasitas *Bidirectional converter* (inverter) dalam tiap konfigurasi ditentukan sesuai dengan beban puncak dan dengan mempertimbangkan penambahan 15% dari kapasitas daya yang di layani. Dengan mengambil nilai efisiensi converter sebesar 0,95 maka besar kapasitas converter adalah:

$$P_{inv} = \frac{P_{peak\ load} \times 115\%}{\eta_{inv}} = \frac{105,2 \times 1,15}{0,95} = 127,347 \text{ kW} \approx 130 \text{ kW}$$

Untuk keperluan pemenuhan beban, dalam simulasi *HOMER* ditambahkan opsi sensitivitas kapasitas converter yaitu 130 kW – 300 kW.

Hasil perhitungan kapasitas minimal dan biaya komponen untuk tiap konfigurasi dapat di lihat pada tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Kapasitas Minimal Komponen Sistem PLH

| Persentase Konfigurasi | Kapasitas Minimal Komponen Sistem | | | |
|---|-----------------------------------|-------------|----------------|----------------|
| | PV (kWp) | Diesel (kW) | Battery (unit) | Konverter (kW) |
| Diesel(100%) | 0 | 135 | 0 | 0 |
| PV (100%) | 204 | 0 | 2014 | 130 |
| PV(70%) + Diesel(30%) | 143 | 100 | 1333 | 130 |
| PV(50%) + Diesel(50%) | 102 | 125 | 1067 | 130 |
| PV(30%) + Diesel(70%) | 62 | 140 | 920 | 130 |
| Ket: 1 unit battery = 2,4 kWh (12V;200Ah) | | | | |

Tabel 4.9 Biaya Komponen Sistem PLH

| Komponen | Biaya Pengadaan | Biaya Penggantian | O & M |
|--|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| Gen Diesel | US\$ 120/kW (alibaba.com) | 90% Pengadaan | US\$ 1,3 – 1,8/jam |
| Photovoltaic | US\$ 1214/kW (PanelSuryaJakarta.com) | 100% Pengadaan | US\$ 1/kW |
| Konverter | US\$ 306/kW (alibaba.com) | 90% Pengadaan | US\$ 10/kW/tahun |
| Battery | US\$ 366/2,4 kWh (osibatteries.com) | 90% Pengadaan | US\$ 0,1/unit/tahun |
| Nilai Tukar Rupiah; US\$ 1 = Rp. 14.000,- (Rata-rata Kurs Juli-Okt 2015; www.bi.go.id) Harga Solar = Rp.10.000/Liter \approx \$ 0,8/Liter (Harga solar di Pulau Moti; Survey,2014) Suku Bunga = 7,5 % (BI Rate,2015; www.bi.go.id) | | | |

4.6 Hasil Simulasi Sistem PLH

Hasil simulasi sistem pembangkit listrik hibrida menggunakan *software HOMER* di peroleh kapasitas komponen sistem yang optimal yang mampu memenuhi kebutuhan beban di Pulau Moti sebesar $\pm 278,495$ kWh/tahun, seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Kapasitas Komponen Sistem Konfigurasi yang Optimal.

| Persentase Konfigurasi | Kapasitas Komponen Sistem Yang Optimal | | | |
|--|--|-------------|----------------|----------------|
| | PV (kWp) | Diesel (kW) | Battery (unit) | Konverter (kW) |
| Diesel(100%) | 0 | 190 | 0 | 0 |
| PV (100%) | 234 | 0 | 2014 | 190 |
| PV(70%) + Diesel(30%) | 143 | 100 | 1333 | 130 |
| PV(50%) + Diesel(50%) | 102 | 120 | 1067 | 130 |
| PV(30%) + Diesel(70%) | 62 | 120 | 920 | 130 |
| Ket : 1 unit battery = 2,4 kWh (12V;200Ah) | | | | |

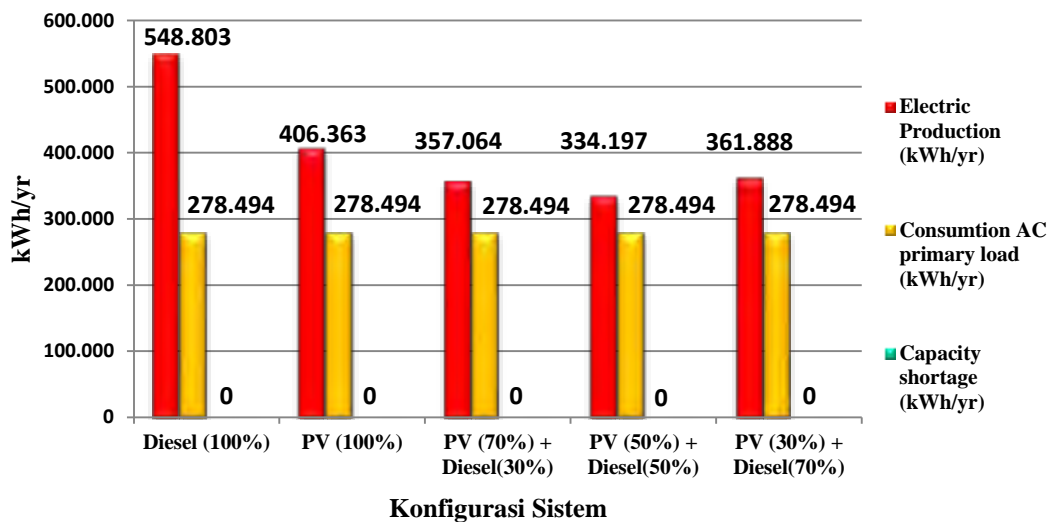
Hasil parameter *output* dari kelima konfigurasi pada Tabel 4.10 dapat di jelaskan pada sub bahasan 4.6.1 selanjutnya.

4.6.1 Hasil Perbandingan Konfigurasi Sistem PLH

Dari simulasi yang dilakukan menggunakan *software HOMER* didapatkan perbandingan beberapa parameter *output* dari kelima konfigurasi sistem PLH yang telah dirancang sebagai berikut:

1. Perbandingan *Electric production*, *Consumtion AC primary load*, *Excess electricity* dan *Capacity shortage*.

Hasil perhitungan produksi energi listrik (*Electric production*), pemakaian energi pada beban (*Consumtion AC primary load*), kelebihan energi listrik dari sistem (*Excess electricity*), dan kapasitas beban yang tidak terpenuhi (*Capacity shortage*), di berikan dalam Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Perbandingan produksi energi listrik, pemakaian energi pada beban, kelebihan energi pada sistem dan kapasitas beban yang tidak terpenuhi.

Tabel 4.11 Produksi Energi Listrik dari Komponen Sistem

| Konfigurasi | Electric Production | | Renewable fraction (%) |
|-------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | PV (kWh/tahun) | Diesel (kWh/tahun) | |
| Diesel (100%) | - | 548.803 | 0 |
| PV (100%) | 406.363 | - | 100 |
| PV (70%) + Diesel (30%) | 248.333 | 108.732 | 69,5 |
| PV (50%) + Diesel (50%) | 177.133 | 157.065 | 53 |
| PV (30%) + Diesel (70%) | 107.669 | 254.220 | 29,8 |

Dari Gambar 4.14 dan Tabel 4.11 di atas dapat dilihat bahwa, dari kelima model konfigurasi untuk memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Moti terdapat perbedaan dalam jumlah produksi energi listrik (*Electric production*). Produksi

energi listrik tertinggi terdapat pada sistem konfigurasi Diesel(100%) sebesar 548.803 kWh/tahun dan terendah yaitu pada sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar 334.197 kWh/tahun atau 60,9% lebih rendah dari konfigurasi Diesel(100%).

Untuk distribusi energi listrik ke beban di Pulau Moti sebesar ± 278.495 kWh/tahun, pada setiap konfigurasi sistem dinyatakan terpenuhi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.14, dari semua kategori konfigurasi sistem menunjukkan besar pemakaian energi beban (*Consumtion AC primary load*) sebesar 278.494 kWh/tahun dan nilai kapasitas beban yang tidak terpenuhi (*Capacity shortage*) sebesar 0 (nol) kWh/tahun.

Pada Tabel 4.11 di peroleh *Renewable fraction* atau persentase jumlah energi terbarukan yang di distribusikan ke beban (*Consumtion AC primary load*) pada konfigurasi Diesel(100%) adalah 0%, artinya pada konfigurasi Diesel(100%) energi yang di pakai beban semuanya (100%) di pasok oleh generator diesel karena sistem ini tidak di dukung oleh sumber energi terbarukan. Hal yang sama juga pada konfigurasi PV(100%), energi yang di pakai beban semuanya (100%) di pasok oleh PV, kerena nilai *Renewable fraction*nya sebesar 100%. Pada konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%), persentase jumlah pemakaian energi terbarukan (*Renewable fraction*) sebesar 69,5% atau terdapat selisih 0,5% dari yang di tetapkan sebelumnya yaitu 70% pada perhitungan penetapan konfigurasi. selisih kelebihan energi ini menjadi bagian dari kelebihan energi (*excess electricity*) dan rugi daya (*losses*) pada sistem. Hal yang sama terjadi pada konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%) nilai *Renewable fraction*nya sebesar 29,8% atau terdapat selisih 0,2%. Berbeda dengan konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) nilai *Renewable fraction*nya sebesar 53% atau terdapat kelebihan 3% dari yang ditetapkan sebelumnya sebesar 50%. Hal ini kerena ada pembatasan jam operasi generator diesel untuk membuat sistem lebih efisien.

Kelebihan energi listrik pada sistem konfigurasi Diesel(100%) adalah yang tertinggi, sebesar 270.308 kWh/tahun dan terendah pada sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar 10.672 kWh/tahun. Persentase kelebihan energi listrik untuk semua sistem konfigurasi dapat di lihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Persentase Kelebihan Energi Listrik Sistem Konfigurasi

| Konfigurasi | Excess electricity (kWh/tahun) | % |
|-------------------------|-----------------------------------|------|
| Diesel (100%) | 270.308 | 49,3 |
| PV (100%) | 52.141 | 12,8 |
| PV (70%) + Diesel (30%) | 29.824 | 8,35 |
| PV (50%) + Diesel (50%) | 10.672 | 3,19 |
| PV (30%) + Diesel (70%) | 43.658 | 12,1 |

Kelebihan energi dari konfigurasi Diesel(100%) sebesar 270.308 kWh/tahun atau 49,03 % adalah energi yang dibuang percuma atau tidak terpakai, karena sistem ini tidak di dukung dengan battery untuk menyimpan energi sisa. Lain halnya dengan konfigurasi system PV atau gabungan PV+Diesel yang didukung oleh komponen battery, kelebihan produksi listrik dari sistem akan disimpan dalam battery yang sewaktu-waktu dapat dipergunakan sesuai permintaan beban; Ini adalah kelebihan utama sistem *hybrid* dibandingkan dengan sistem yang hanya terdiri dari generator diesel saja, sistem ini mampu memenuhi 100% beban sepanjang tahun dan bahkan menyediakan kelebihan *suplay* untuk mengantisipasi pertumbuhan beban di masa mendatang.

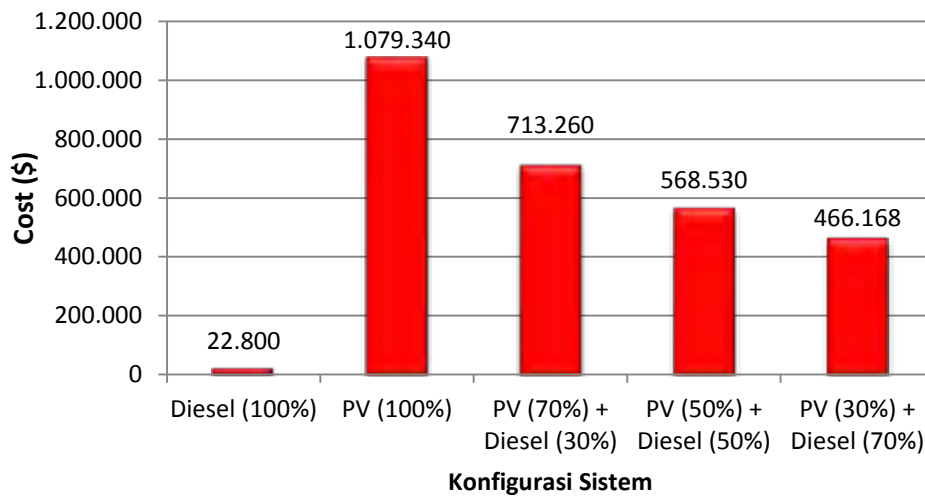
Untuk sistem PV+Diesel, cadangan energi listrik harian yang tersimpan dalam battery sistem dapat dinyatakan dengan *Days of Outonomy*. Besar hari otonom dapat di lihat pada Tabel 4.13.

Tabel. 4.13 Cadangan Energi Listrik Harian

| Konfigurasi | Outonomy (jam) | Outonomy (hari) |
|-------------------------|----------------|-----------------|
| Diesel (100%) | 0,0 | 0,0 |
| PV (100%) | 91,2 | 3,8 |
| PV (70%) + Diesel (30%) | 60,4 | 2,5 |
| PV (50%) + Diesel (50%) | 48,3 | 2,0 |
| PV (30%) + Diesel (70%) | 41,7 | 1,7 |

2. Perbandingan *Capital Cost Sistem*

Hasil perhitungan *capital cost* dari tiap sistem konfigurasi di tunjukan pada Gambar 4.15.

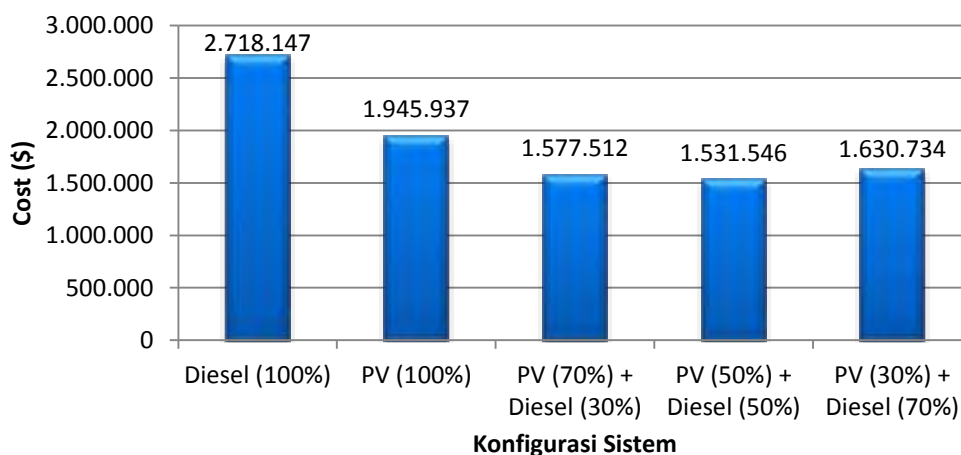


Gambar 4.15 Perbandingan *Capital Cost* Konfigurasi Sistem

Dari gambar 4.15 dapat di lihat bahwa biaya investasi awal untuk pengadaan komponen sistem konfigurasi PV(100%) tertinggi dari semua sistem konfigurasi sebesar US\$ 1.079.340 dan terendah untuk konfigurasi Diesel(100%) dengan nilai US\$ 22.800. Hal ini disebabkan karena harga per kW komponen sistem PV relatif masih cukup tinggi jika dibandingkan dengan harga generator diesel per kWnya.

3. Perbandingan *Net Present Cost*

Hasil perbandingan total biaya keseluruhan sistem dari masing-masing konfigurasi di tunjukan pada Gambar 4.16.



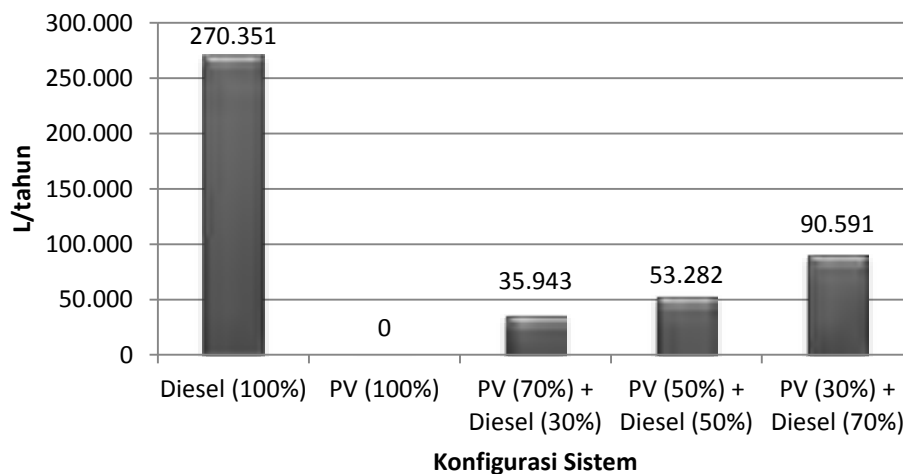
Gambar 4.16 Perbandingan *Net Present Cost* Konfigurasi Sistem

Dari Gambar 4.16 dapat di lihat bahwa nilai NPC terendah pertama dan kedua adalah pada sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar US\$ 1.531.546 dan konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) sebesar US\$ 1.577.512; kemudian nilai NPC tertinggi yaitu pada sistem konfigurasi Diesel(100%) sebesar 2.718.147.

Total *NPC* mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung, terdiri dari biaya pengadaan komponen, biaya pengganti, biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar, biaya pinalti emisi (jika ada) dan biaya suku bunga.

4. Perbandingan *Fuel Consumption*

Gambar 4.17 memperlihatkan perbandingan pemakaian bahan bakar minyak untuk generator diesel untuk tiap konfigurasi sistem. Konsumsi bahan bakar diesel terbesar adalah pada konfigurasi Diesel(100%) sebanyak 270.351 L/tahun. pada konfigurasi PV(100%) konsumsi minyak 0 (nol) Liter/tahun karena tidak menggunakan generator diesel.



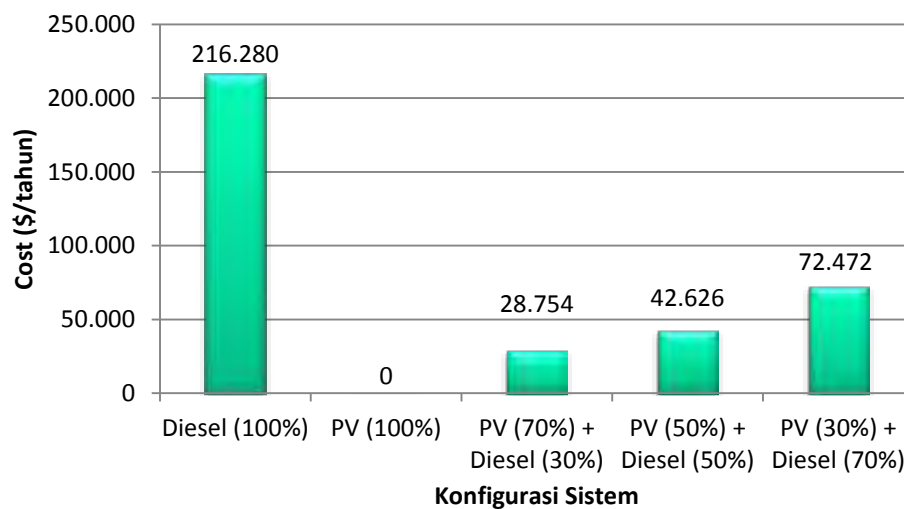
Gambar 4.17 Perbandingan *Fuel Consumption*

Jika kita bandingkan pemakaian bahan bakar diesel untuk sistem konfigurasi Diesel(100%) dengan sistem konfigurasi gabungan PV + Diesel yang lain, sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) mengkonsumsi bahan bakar diesel lebih sedikit sebesar 35.943 L/tahun atau 13,29 % dari total konsumsi

bahan bakar diesel sistem konfigurasi Diesel(100%), Sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar 19,71 %, dan sistem konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%) sebesar 33.51 % dari total konsumsi bahan bakar diesel oleh sistem konfigurasi Diesel(100%).

5. Perbandingan *Fuel Cost*

Sama halnya dengan nilai persentase perbandingan *fuel consumption* yang telah dibahas diatas, nilai persentase ini juga akan sama jika kita bandingkan *fuel cost* dari sistem konfigurasi Diesel(100%) dengan sistem konfigurasi system PV + Diesel. Dari gambar 4.19 dapat dilihat bahwa *fuel cost* tertinggi terdapat pada konfigurasi Diesel(100%) sebesar 216.280 \$/tahun dan 0 (nol) untuk konfigurasi PV(100%).



Gambar 4.18 Perbandingan *Fuel Cost*

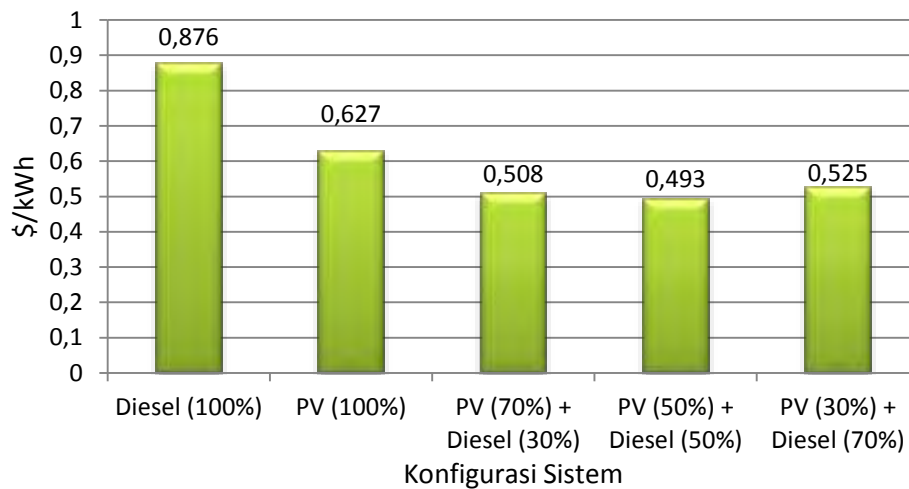
Dari garfik perbandingan pemakaian bahan bakar (*Fuel consumption*) dan biaya bahan bakar (*Fuel cost*), jika kita bandingkan sistem konfigurasi PV+Diesel dengan total biaya pemakaian bahan bakar diesel (tanpa oli) saat ini di Pulau Moti sebesar 100.794 L/tahun atau Rp.1.007.940.000/tahun = 71.995,7 \$/tahun, maka nilai ini lebih mahal 2,5 kali dari sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%), 1,69 kali lebih mahal dari sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%), namun biayanya lebih bersaing dengan sistem konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%).

Untuk pemakaian bahan bakar, maka sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) lebih irit 64,3% dari pemakaian bahan bakar diesel saat ini di Pulau Moti, sistem PV(50%) + Diesel(50%) lebih irit 47,1%, dan lebih irit 10,1% untuk sistem konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%).

(Total biaya dan pemakaian bahan bakar diesel di Pulau Moti saat ini adalah biaya dan pemakaian BBM dengan pola operasi 3 - 5 jam/hari).

6. Perbandingan *COE*

Gambar 4.19 memperlihatkan harga listrik per kWh masing-masing konfigurasi sistem. Harga listrik terbesar di berikan oleh konfigurasi PV(100%) sebesar US\$ 0,708/kWh dan terendah oleh konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar US\$ 0,339/kWh.



Gambar 4.19 Perbandingan *COE*

Dari Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa harga jual listrik sistem konfigurasi PV(100%) sebesar 0,627 \$/kWh atau 28,4% lebih murah jika dibandingkan dengan sistem konfigurasi Diesel(100%), namun untuk sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) lebih murah 19% dari sistem konfigurasi PV(100%). Untuk sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) lebih murah 21,4% dari sistem PV(100%), juga untuk sistem konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%) lebih murah 16,3% jika dibandingkan dengan konfigurasi PV(100%).

Berbeda Jika kita bandingkan harga jual listrik sistem konfigurasi pada Gambar 4.19 dengan tarif daya listrik (TDL) PLN golongan R1 (1300VA; non subsidi) sebesar Rp. 1.352/kWh atau US\$ 0,096/kWh (PLN, 2015), maka harga jual listrik sistem konfigurasi PV(100%) adalah 6,5 kali lebih tinggi dari TDL PLN. Untuk konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) sebesar 5,29 kali, konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar 5,1 kali dan konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%) sebesar 5,47 kali lebih tinggi dari TDL PLN.

Hasil perhitungan perkiraan biaya pemakaian beban listrik di Pulau Moti untuk sistem operasi 24 jam dapat di lihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

Tabel 4.14 Tarif Daya Listrik Sistem Konfigurasi PLH

| Konfigurasi | Levelized COE (Rp/kWh) |
|---|------------------------|
| Diesel (100%) | 12.264 |
| PV (100%) | 8.778 |
| PV (70%) + Diesel (30%) | 7.112 |
| PV (50%) + Diesel (50%) | 6.902 |
| PV (30%) + Diesel (70%) | 7.350 |
| US\$ 1 = Rp. 14.000 | |
| TDL PLN 1.300VA non subsidi = Rp. 1.352/kWh | |

Tabel 4.15 Perkiraan Biaya Listrik per Bulan

| Konfigurasi | COE (Rp/bulan) |
|--|----------------|
| Diesel (100%) | 588.672 |
| PV (100%) | 421.344 |
| PV (70%) + Diesel (30%) | 341.376 |
| PV (50%) + Diesel (50%) | 331.296 |
| PV (30%) + Diesel (70%) | 352.800 |
| PLN = Rp. 1.352/kWh x 1,6 kWh x 30 hari = Rp.64.896 | |
| Asumsi 1 bulan = 30 hari, dan Pemakaian beban per-rumah 1,6 kWh/hari. (lihat perhitungan beban Pulau Moti) | |

Rangkuman hasil perbandingan parameter *output* dari kelima konfigurasi sistem PLH dapat di lihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Rangkuman hasil simulasi model konfigurasi sistem PLH

| Komponen & parameter | Model Konfigurasi | | | | |
|--|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Diesel (100%) | PV (100%) | PV(70%) + Diesel(30%) | PV(50%) + Diesel(50%) | PV(30%) + Diesel(70%) |
| PV (kWp) | 0 | 234 | 143 | 102 | 62 |
| Diesel (kW) | 190 | 0 | 100 | 120 | 120 |
| Battery (unit) | 0 | 2.014 | 1.333 | 1.067 | 920 |
| Konverter (kW) | 0 | 190 | 130 | 130 | 130 |
| initial Capital (\$) | 22.800 | 1.079.340 | 713.260 | 568.530 | 466.168 |
| Operating cost (\$/tahun) | 14.146 | 2.101 | 2.999 | 3.786 | 6.241 |
| Fuel consumption (L/tahun) | 270.351 | 0 | 35.943 | 53.282 | 90.591 |
| Total NPC (\$) | 2.718.147 | 1.945.937 | 1.577.512 | 1.531.546 | 1.630.734 |
| COE (\$/kWh) | 0,876 | 0,627 | 0,508 | 0,493 | 0,525 |
| Electric Production (kWh/tahun) | 548.803 | 406.363 | 357.064 | 334.197 | 361.888 |
| Consumption AC load (kWh/tahun) | 278.494 | 278.494 | 278.494 | 278.494 | 278.494 |
| Renewable fraction (%) | 0 | 100 | 69,5 | 53 | 29,8 |
| Excess electricity (kWh/tahun) | 270.308 | 52.141 | 29.824 | 10.672 | 43.658 |
| Capacity shortage (kWh/tahun) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ket : 1 unit battery = 2,4 kWh (12V;200Ah) | | | | | |

Tabel 4.16 menggambarkan hasil simulasi model konfigurasi sistem pembangkit listrik hibrida dengan menggunakan *software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable)*. *HOMER* menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin di terapkan, kemudian di tampilkan berurutan menurut *Net Present Cost*nya, dan akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. *Error* relatif tahunan $\pm 3\%$ dan *error* relatif bulanan $\pm 10\%$ (Ross, 2003; Sheriff. dkk, 2003).

Selain simulasi di lakukan dengan menggunakan *software HOMER*, perhitungan secara teoritis (manual) juga di lakukan sebagai validasi hasil perhitungan nilai *NPC* sistem (terlampir pada Lampiran I). Perbandingan hasil perhitungan nilai *NPC* secara teoritis (manual) dan nilai *NPC* dengan menggunakan *software HOMER* pada setiap sistem konfigurasi terdapat selisih sebesar 4,38 – 9,27% dengan rincian: konfigurasi Diesel(100%) sebesar 4,42%, konfigurasi PV(100%) sebesar 5,61%, konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%)

sebesar 9,27%, konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar 4,38%, dan konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%) sebesar 8,56%. Nilai persentase ini di katakan valid karena berada di bawah nilai kesalahan relatif (*relative error*) bulanan pada perhitungan menggunakan *software HOMER* sebesar 10%.

4.6.2 Sistem Konfigurasi Pilihan Terbaik

Dari hasil data perbandingan parameter sistem konfigurasi yang telah dilakukan, konfigurasi sistem yang optimal ditentukan berdasarkan nilai *Net Present Cost (NPC)* yang terendah dan dapat memenuhi kebutuhan beban di Pulau Moti. Hasil konfigurasi sistem yang optimal adalah sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebagai pilihan terbaik pertama dan sebagai alternatif pilihan kedua adalah sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%). Analisa rinci kedua sistem konfigurasi tersebut dapat di lihat pada pembahasan berikut:

A. Konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%)

1. Kapasitas Komponen Utama Sistem

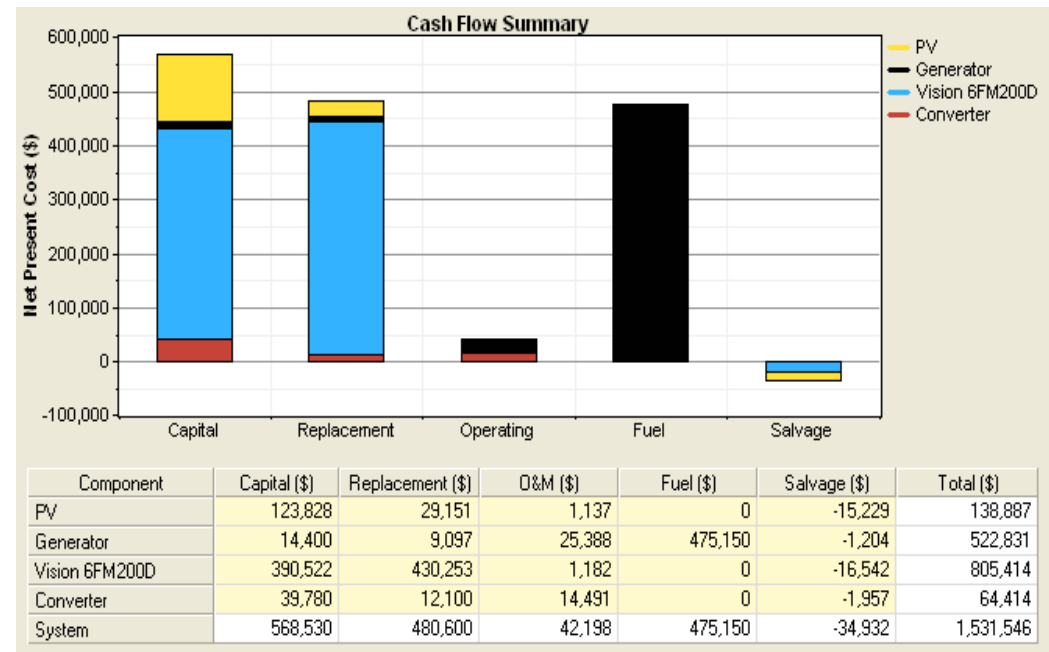
Hasil simulasi menggunakan *software HOMER* mendapatkan komponen utama sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) berupa:

- a) Kapasitas PV array 102 kWp dengan jumlah modul sebanyak 340 unit, luas array 660 m². (@ 300 Wp/modul; $1,956 \times 0,992 \text{ m}^2$)
- b) Kapasitas Generator Diesel 120 kW.
- c) Kapasitas battery 213.255,4 Ah; 1067 unit battery (12V; 200 Ah); dan
- d) Kapasitas converter 130 kW.

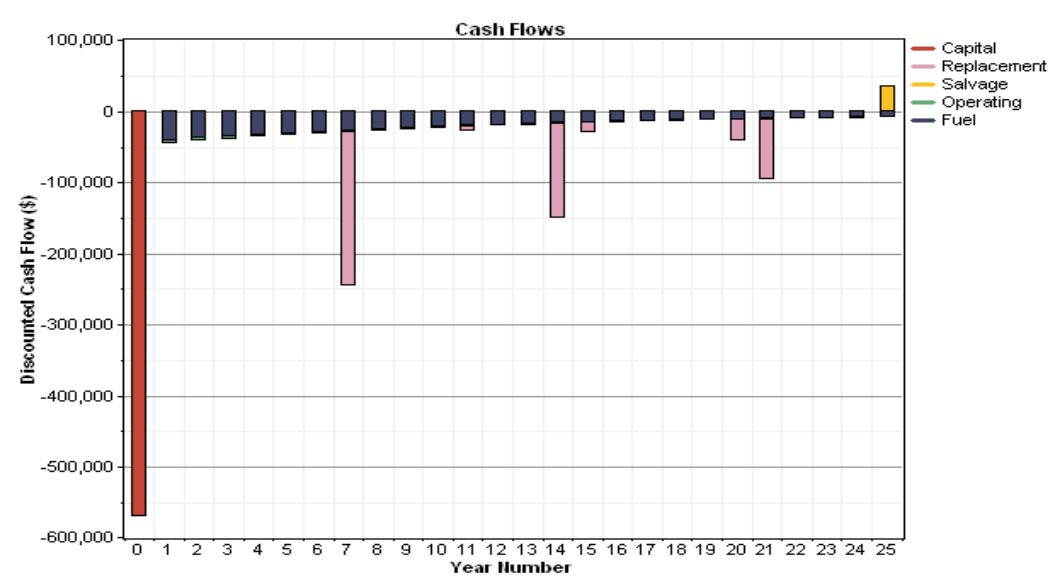
2. Rincian *Net Present Cost*

Rincian *Net Present Cost (NPC)* yang mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.20. Biaya terbesar yang harus di keluarkan selama 25 tahun adalah biaya investasi awal yaitu sebesar US\$ 568.530 atau 37,1% dari total *NPC*, diikuti biaya penggantian komponen 31,3%, biaya bahan bakar diesel 31,02%, biaya operasional dan pemeliharaan 2,75%. *HOMER* juga menghitung nilai sisa untuk Generator diesel,

battery, konverter dan modul surya sebagai nilai sisa pada komponen sistem hingga batas akhir proyek berlangsung.



Gambar 4.20 Net Present Cost Sistem Konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%)



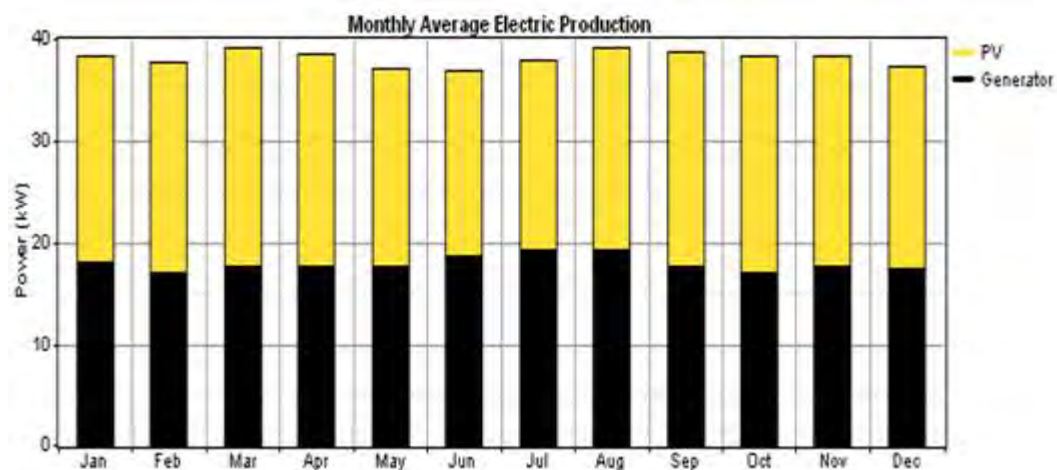
Gambar 4.21 Aliran Biaya Sistem Konfigurasi PV(50%)+Diesel(50%) Selama 25 Tahun

Pada Gambar 4.21 menunjukkan aliran biaya sistem konfigurasi PV(50%)+Diesel(50%) selama 25 tahun. Jika melihat detailnya, pengeluaran terbesar adalah pada masa awal proyek yaitu untuk pengadaan komponen-komponen sistem, kemudian pengeluaran rutin per tahun adalah biaya operasional untuk semua komponen utama sistem yaitu PV sebesar \$102/tahun, Generator diesel sebesar \$2.278/tahun, Battery sebesar \$106/tahun, dan converter sebesar \$1.300/tahun. biaya bahan bakar diesel sebesar \$42.626/tahun. Kemudian pemeliharaan dan penggantian komponen PV pada tahun ke-20 sebesar \$123.828, Generator diesel pada tahun ke-11 dan ke-21 sebesar \$12.960. Penggantian battery setiap 7 tahun sekali yaitu pada tahun ke-7, 14 dan tahun ke-21 sebesar \$351.469, dan penggantian converter pada tahun ke-15 sebesar \$35.802.

Terdapat nilai sisa dari komponen sistem pada batas akhir proyek yaitu nilai sisa untuk PV sebesar \$92.871; Generator diesel sebesar \$7.344; nilai sisa untuk battery sebesar \$100.878; dan untuk converter sebesar \$11.934.

3. Produksi Listrik

Produksi listrik untuk sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel (50%) dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Rata-rata Produksi Listrik Bulanan Sistem Konfigurasi PV(50%) + Diesel (50%) Selama Setahun.

Persentase Produksi Listrik Komponen Sistem Konfigurasi PV(50%)+ Diesel(50%) sebagai berikut:

| Production | kWh/yr | % |
|------------|---------|-----|
| PV array | 177,133 | 53 |
| Generator | 157,065 | 47 |
| Total | 334,197 | 100 |

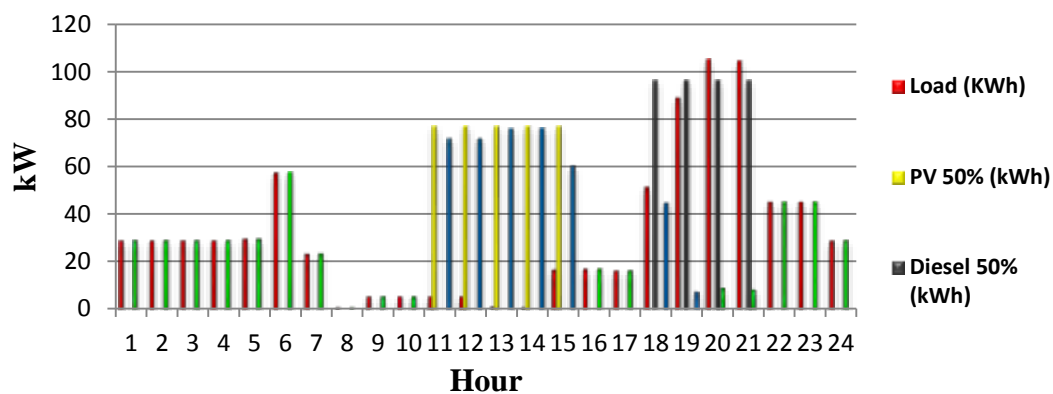
Hasil produksi listrik dari sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) adalah sebesar 334.197 kWh/tahun. Nilai ini dapat mengatasi total kebutuhan beban listrik di Pulau Moti sebesar $\pm 278,495$ kWh/tahun, dan masih terdapat kelebihan energi listrik sebesar 10.672 kWh/tahun. kelebihan energi listrik ini akan disimpan ke battery untuk kemudian dipakai pada saat generator PV tidak beroperasi.

4. Energi Listrik Cadangan

Untuk sistem PV(50%) + Diesel(50%), *HOMER* juga menghitung cadangan energi yang tersimpan di battery sebanyak 48,3 jam atau 2 hari outonom. Energi cadangan ini digunakan untuk mengantisipasi hari-hari mendung saat panel surya tidak beroperasi maksimal.

5. Pemenuhan Beban Listrik

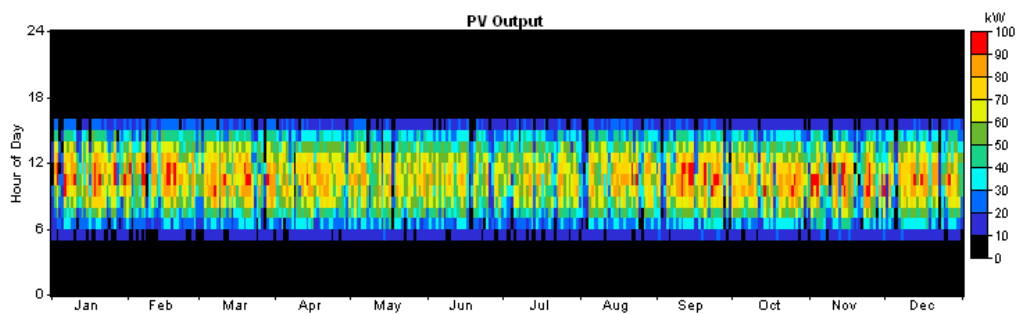
Pemenuhan beban listrik Pulau Moti oleh sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Pemenuhan Beban Listrik di Pulau Moti Oleh Sistem Konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%)

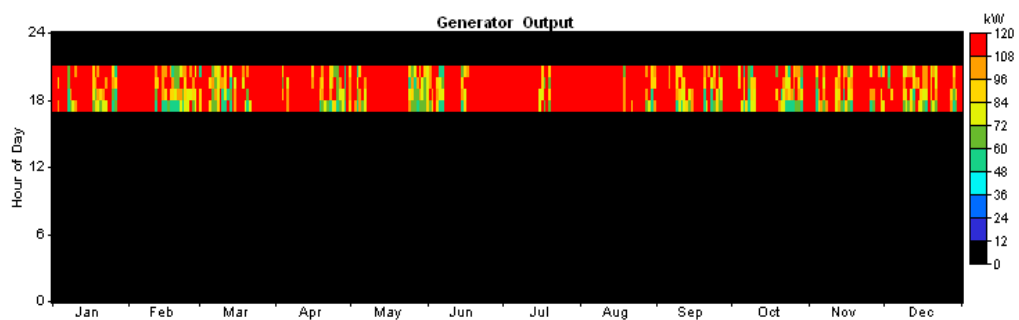
Dari Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa jam operasi efektif dari PV diasumsikan 5 jam/hari dengan hasil produksi energi listrik (warna kuning), kelebihan produksi listrik dari PV (warna biru) di simpan ke battery, untuk kemudian digunakan memasok ke beban (warna merah) saat PV tidak beroperasi. Produksi energi listrik Generator diesel (warna hitam) digunakan untuk memasok beban puncak yang terjadi antara jam 19:00 - 21:00 WIT.

Gambar 4.24 menunjukkan hasil *output* energi listrik tahunan yang di hasilkan oleh PV dalam memenuhi beban. Dari hasil simulasi menggunakan HOMER di dapatkan jam operasi evektif dari PV adalah 4.387 jam/tahun, dengan total produksi energi listrik dalam memenuhi beban sebesar 177.133 kWh/tahun.



Gambar 4.24 *Output* energi listrik tahunan oleh PV

Gambar 4.25 menunjukkan *output* energi listrik oleh generator diesel untuk memasok beban puncak. Jam operasi generator diesel dalam setahun adalah 1.460 jam/tahun dengan total produksi energi listrik sebesar 157.065 kWh/tahun.



Gambar 4.25 *Output* energi listrik tahunan oleh generator diesel

6. Biaya Listrik

Dari hasil simulasi di dapatkan juga harga jual listrik untuk sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar US\$ 0,493/kWh atau Rp. 6.902/kWh (\$1 = Rp.14.000). Tentunya harga kWh ini 5,1 kali lebih mahal dari harga TDL PLN Rp. 1.352/kWh atau US\$ 0,096/kWh untuk tarif golongan R1 (1300VA; non subsidi).

Hasil perhitungan besar biaya yang harus di keluarkan tiap bulan dengan menggunakan tarif listrik Rp.6.902/kWh adalah sebesar Rp.331.296. Seperti terlihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perkiraan Biaya Listrik Sistem Konfigurasi PV(50%)
+ Diesel (50%)

| | |
|--|---------|
| Levelized COE (\$/kWh) | 0,493 |
| Levelized COE (Rp/kWh) | 6.902 |
| COE (Rp/bulan) | 331.296 |
| PLN = Rp. 1.352/kWh x 1,6 kWh x 30 hari = Rp.64.896/bulan Asumsi 1 bulan = 30 hari, dan Pemakaian beban per rumah = 1,6 kWh/hari | |
| keterangan: lihat perhitungan beban Pulau Moti | |

B. Konfigurasi PV (70%) Diesel (30%)

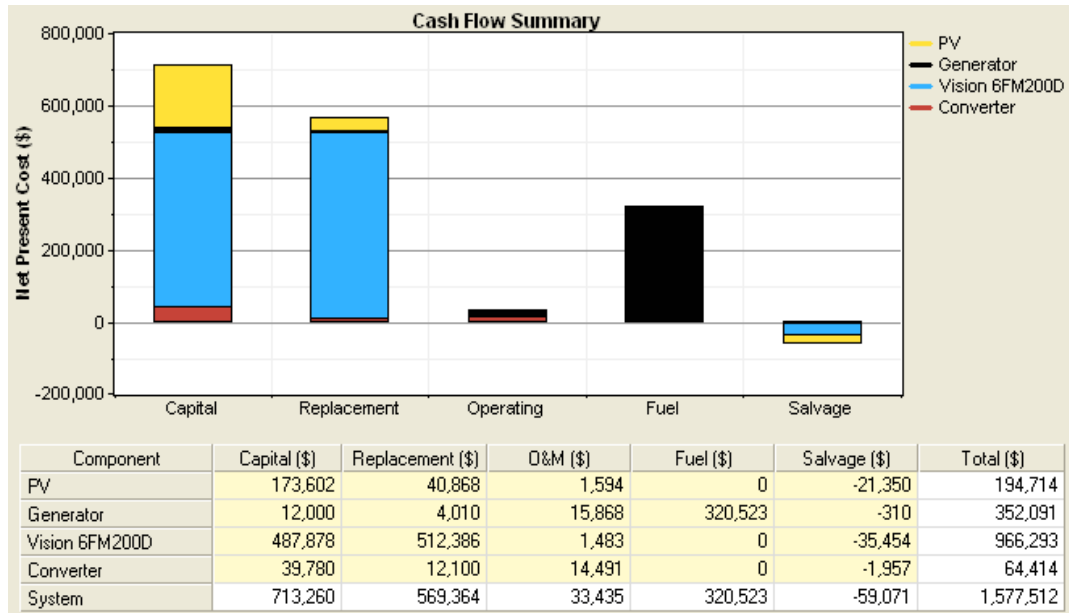
1. Kapasitas Komponen Utama Sistem

Hasil simulasi menggunakan *software HOMER* mendapatkan komponen utama sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) berupa:

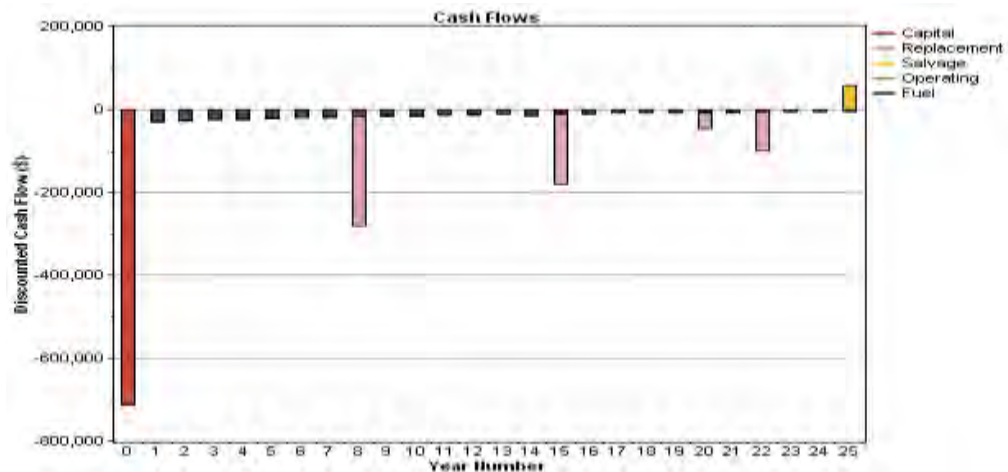
- Kapasitas PV array 143 kWp dengan jumlah modul sebanyak 476 unit, luas array 924 m². (@ 300 Wp/modul; 1,956 × 0,992 m²)
- Kapasitas Generator Diesel 100 kW.
- Kapasitas battery 266.535,9 Ah; 1.333 unit battery (12V; 200 Ah); dan
- Kapasitas converter 130 kW.

2. Rincian *Net Present Cost*

Rincian *Net Present Cost* (*NPC*) yang mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 *Net Present Cost* Sistem Konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%)



Gambar 4.27 Aliran Biaya Sistem Konfigurasi PV(70%)+Diesel(30%) Selama 25 Tahun

Gambar 4.26 menunjukkan biaya terbesar yang harus dikeluarkan selama 25 tahun adalah biaya investasi awal yaitu sebesar US\$ 713.260 atau 45,2% dari total *NPC*, diikuti biaya penggantian komponen 36,1%, biaya bahan bakar diesel

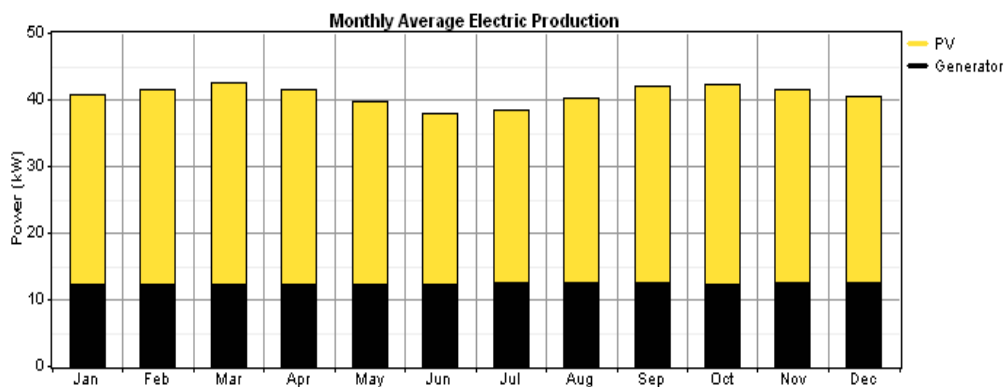
20,3%, biaya operasional dan pemeliharaan 2,12%. Homer juga menghitung nilai sisa untuk Generator diesel, battery, konverter dan PV sebagai nilai sisa pada komponen sistem hingga batas akhir proyek berlangsung.

Pada Gambar 4.27 menggambarkan aliran biaya sistem konfigurasi PV(70%)+Diesel(30%) selama 25 tahun. Jika melihat detailnya, pengeluaran terbesar adalah pada masa awal proyek yaitu untuk pengadaan komponen-komponen sistem, kemudian pengeluaran rutin per tahun adalah biaya operasional untuk semua komponen utama sistem yaitu PV sebesar \$143/tahun, Generator diesel sebesar \$1.424/tahun, Battery sebesar \$133/tahun, dan converter sebesar \$1.300/tahun. biaya bahan bakar diesel sebesar \$28.754/tahun. Kemudian pemeliharaan dan penggantian komponen PV pada tahun ke-20 sebesar \$173.602; Generator diesel pada tahun ke-14 sebesar \$10.800; Penggantian battery pada tahun ke-8, 15 dan tahun ke-22 sebesar \$439.090; dan penggantian converter pada tahun ke-15 sebesar \$35.802.

Terdapat nilai sisa dari komponen sistem pada batas akhir proyek yaitu nilai sisa untuk PV sebesar \$130.202; Generator diesel sebesar \$1.890; nilai sisa untuk battery sebesar \$216.208; dan untuk converter sebesar \$11.934.

3. Produksi Listrik

Produksi listrik untuk system konfigurasi PV(70%) + Diesel (30%) dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Rata-rata Produksi Listrik Bulanan Sistem Konfigurasi PV(70%) + Diesel (30%) Selama Setahun.

Persentase produksi listrik komponen sistem konfigurasi PV(70%)+ Diesel(30%) sebagai berikut:

| Production | kWh/yr | % |
|------------|---------|-----|
| PV array | 248,333 | 70 |
| Generator | 108,732 | 30 |
| Total | 357,064 | 100 |

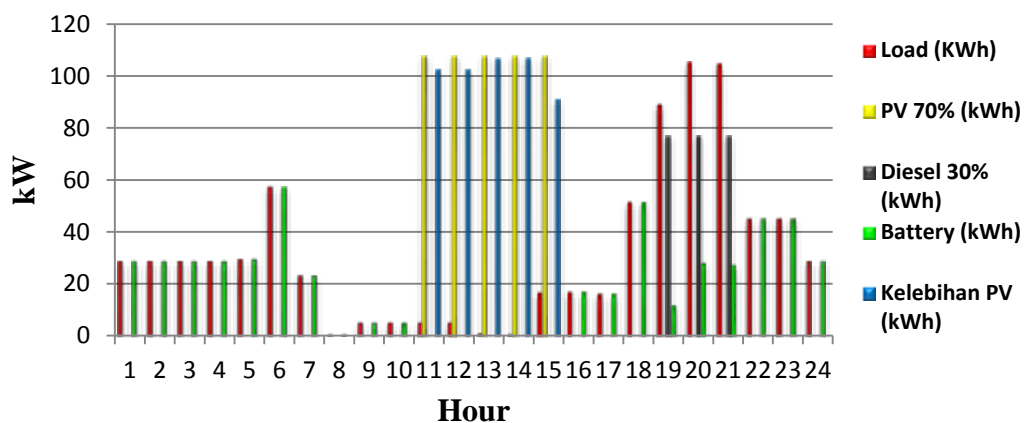
Hasil produksi listrik dari sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) adalah sebesar 357.064 kWh/tahun. Nilai ini dapat mengatasi total kebutuhan beban listrik di Pulau Moti sebesar $\pm 278,495$ kWh/tahun, dan masih terdapat kelebihan energi listrik sebesar 29.824 kWh/tahun.

4. Energi Listrik Cadangan

Untuk sistem PV(70%) + Diesel(30%), *HOMER* juga menghitung cadangan energi yang tersimpan di battery sebanyak 60,4 jam atau 2,52 hari outonom. Energi cadangan ini digunakan untuk mengantisipasi hari-hari mendung saat panel surya tidak beroperasi maksimal.

5. Pemenuhan Beban Listrik

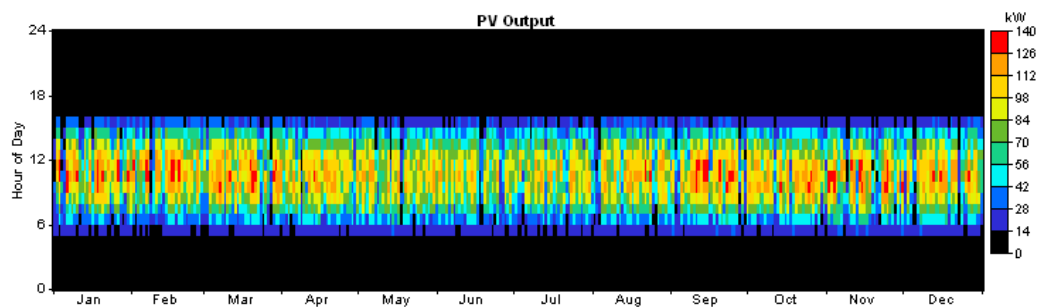
Pemenuhan beban listrik Pulau Moti oleh sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Pemenuhan Beban Listrik di Pulau Moti Oleh Sistem Konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%)

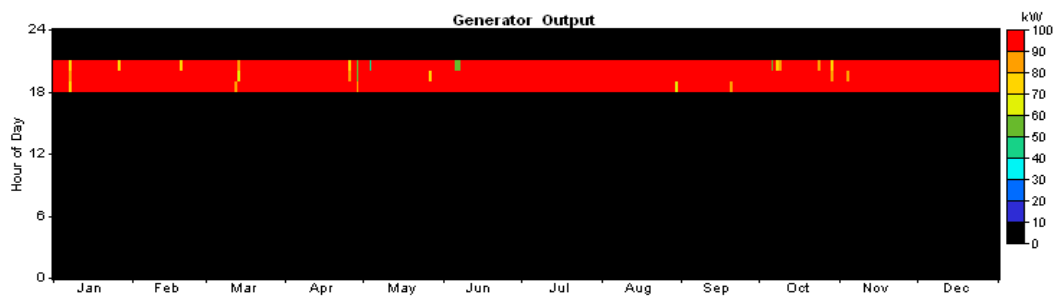
Dari Gambar 4.29 dapat dilihat bahwa jam operasi efektif dari PV diasumsikan 5 jam/hari dengan hasil produksi energi listrik (warna kuning), kelebihan produksi listrik dari PV (warna biru) di simpan ke battery, untuk kemudian digunakan memasok ke beban (warna merah) saat PV tidak beroperasi. Produksi energi listrik Generator diesel (warna hitam) digunakan untuk memasok beban puncak yang terjadi antara jam 19:00 - 21:00 WIT.

Gambar 4.30 menunjukkan hasil *output* energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh PV dalam memenuhi beban. Dari hasil simulasi *HOMER* didapatkan jam operasi efektif dari PV adalah 4.387 jam/tahun, dengan total produksi energi listrik dalam memenuhi beban sebesar 248.333 kWh/tahun.



Gambar 4.30 *Output* energi listrik tahunan oleh PV

Gambar 4.31 menunjukkan *output* energi listrik oleh generator diesel untuk memasok beban puncak. Jam operasi generator diesel dalam setahun adalah 1.095 jam/tahun dengan total produksi energi listrik sebesar 108.732 kWh/tahun.



Gambar 4.31 *Output* energi listrik tahunan oleh generator diesel

6. Biaya Listrik

Dari hasil simulasi di dapatkan juga harga jual listrik untuk sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) sebesar US\$ 0,508/kWh atau Rp. 7.112/kWh jika menggunakan harga dollar Rp.14.000/\$. Tentunya harga kWh ini 5,29 kali lebih mahal dari harga TDL PLN Rp. 1.352/kWh atau US\$ 0,096/kWh untuk tarif golongan R1 (1300VA; non subsidi).

Hasil perhitungan besar biaya yang harus di keluarkan tiap bulan dengan menggunakan tarif listrik Rp.7.112/kWh adalah sebesar Rp.341.376. Seperti terlihat pada table 4.18.

Tabel 4.18 Perkiraan Biaya Listrik Sistem Konfigurasi PV(70%) + Diesel (30%)

| | |
|--|---------|
| Levelized COE (\$/kWh) | 0,508 |
| Levelized COE (Rp/kWh) | 7.112 |
| COE (Rp/bulan) | 341.376 |
| PLN = Rp. 1.352/kWh x 1,6 kWh x 30 hari = Rp.64.896 Asumsi 1 bulan = 30 hari, dan Pemakaian beban per-rumah = 1,6 kWh/hari | |
| Keterangan : lihat perhitungan beban Pulau Moti | |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan energi listrik di Pulau Moti secara keseluruhan belum terpenuhi karena waktu operasional generator diesel 4,5 jam/hari dengan pemakaian bahan bakar diesel sebanyak 100.798 L/tahun.
2. Potensi energi terbarukan di Pulau Moti yang potensial sebagai sumber energi listrik adalah energi radiasi matahari dengan nilai radiasi matahari rata-rata harian per tahun sebesar 5,96 kWh/m²/hari.
3. Model konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal pilihan pertama untuk di terapkan di Pulau Moti yaitu sistem konfigurasi PV(50%) + Diesel (50%) yang terdiri dari PV berkapasitas 102 kWp dengan jumlah modul PV sebanyak 340 unit dan luas PV array 660 m², 1 unit Generator diesel berkapasitas 120 kW, 1.067 unit battery (12V; 200 Ah), dan kapasitas converter 130 kW. Nilai NPC sebesar US\$ 1.531.546 (\pm Rp 21,4 Milyar; kurs Rp.14.000/\$) dan dapat memenuhi kebutuhan beban Pulau Moti sebesar 278.495 kWh/tahun.
4. Model konfigurasi alternatif pilihan ke-2 yaitu sistem konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) yang terdiri dari PV berkapasitas 143 kWp dengan jumlah modul 476 unit dan luas array 924 m², 1 unit Generator diesel berkapasitas 100 kW, 1.333 unit battery (12V; 200 Ah), dan converter berkapasitas 130 kW dengan nilai NPC sebesar US\$ 1.577.512 (\pm Rp 22,1 Milyar).
5. Harga jual listrik untuk model konfigurasi pilihan pertama dan kedua lebih besar dari TDL PLN, namun model konfigurasi pilihan ke-2 lebih murah 42% dari harga kWh konfigurasi Diesel (100%) yang merupakan pilihan populer di pedesaan dan lebih irit 64,3% dalam pemakaian bahan bakar diesel per tahun jika dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar diesel saat ini di Pulau Moti.

6. Hasil validasi nilai *NPC* sistem konfigurasi dengan menggunakan perhitungan teoritis (manual) terhadap hasil perhitungan menggunakan *software HOMER* terdapat selisih perbedaan sebesar 4,38 – 9,27%; dikatakan valid karena berada di bawah 10% nilai kesalahan relatif (*relative error*) bulanan pada perhitungan menggunakan *software HOMER*.

5.2 Saran

1. Dalam simulasi model konfigurasi sistem hibrida ini tidak membahas topologi jaringan sehingga dalam studi lanjutan berikutnya ditambahkan parameter topologi jaringan agar hasilnya lebih baik.
2. Data pengukuran kecepatan angin untuk menentukan potensi energi angin di lokasi penelitian sebaiknya di ambil data pengukuran minimal per jam dalam sehari.
3. Mengingat harga listrik per kWh masih diatas harga listrik pembangkit konvensional, maka sistem PLH perlu mendapat dukungan biaya APBN atau APBD agar rakyat pengguna listrik tidak terbebani.

LAMPIRAN A

Kuesioner Penelitian Model A

KONSERVASI ENERGI DI PULAU MOTI - KOTA TERNATE MALUKU UTARA

1. Nama respondent :
2. Jenis kelamin :
 - ☐ Laki-laki
 - ☐ Perempuan
3. Jumlah penghuni dalam rumah :
4. Pekerjaan respondent :
5. Sumber utama pendapatan rumah tangga :
 - ☐ Pertanian
 - ☐ Perikanan
 - ☐ Bisnis
 - ☐ Lainnya
6. Tingkat pendidikan respondent :
 - ☐ Tidak sekolah
 - ☐ SD
 - ☐ SMP/SMA
 - ☐ S1/S2
7. Sumber energi/bahan bakar yang anda gunakan untuk memasak di rumah :

| Sumber Energi | Ya/Tidak | Jumlah Pemakaian tiap bulan | Biaya tiap bulan |
|---------------|----------|-----------------------------|------------------|
| LPG | | | |
| Kayu bakar | | | |
| Minyak Tanah | | | |
| Lain-lain | | | |

8. Tempat mendapatkan bahan bakar memasak :
.....

9. Sumber penerangan di rumah

| Sumber energi | Ya/Tidak | Jumlah pemakaian | Biaya perbulan |
|--------------------|----------|------------------|----------------|
| PLN | | | |
| Generator sendiri | | | |
| Tenaga surya | | | |
| Lampu Minyak tanah | | | |
| Lilin | | | |
| Aki/batrei | | | |
| Lain-lain | | | |

10. Peralatan elektronik yang anda gunakan dalam rumah dan lama penggunaan :
(isikan juga jumlah dan besar daya)

- ☐ Lampu =jam
- ☐ Radio/TV =
- ☐ Kipas angin =
- ☐ Kulkas =
- ☐ Rice cooker =
- ☐
- ☐
- ☐

11. Hasil kebun

| Tanaman | Jumlah (Ha atau Pohon) | Lama panen | Hasil |
|-----------|---------------------------|------------|-------|
| Kelapa | | | |
| Coklat | | | |
| Kopi | | | |
| Pala | | | |
| Cengkih | | | |
| Lain-lain | | | |

12. Hasil ternak

| Ternak | Jumlah | Hasil |
|-----------|--------|-------|
| Sapi | | |
| Kambing | | |
| Ayam | | |
| bebek | | |
| Lain-lain | | |

13. Komentar tentang bahan bakar minyak/kelistrikan :

.....

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Kuesioner Penelitian Model B

KONSERVASI ENERGI DI PULAU MOTI - KOTA TERNATE MALUKU UTARA

Kelurahan :

Nama pengelola generator diesel :

Rumah yang tidak memakai listrik :

Jumlah genset pribadi/kapasitas :

Spesifikasi Generator Diesel

| URAIAN | KETERANGAN |
|---|------------|
| Kapasitas Daya Generator | |
| Harga Beli/Tahun Operasi | |
| Jam Operasi | |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | |
| Bahan Bakar yang digunakan | |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | |
| Biaya Perawatan | |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | |
| Pemasukan dari penjualan listrik | |
| Klasifikasi Pelanggan | |
| Pembatasan Daya per-rumah | |
| Permasalahan yang sering muncul | |

Catatan lain :

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

Frekuensi Data Harian Kecepatan Angin Pulau Moti – Maluku Utara
Tahun 2011 s/d 2014
 Koordinat : 0.457 LU; 127.411 BT

| Kecepatan Angin (m/s) | Frekuensi data (hari) | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| 0.5 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 1 | 15 | 14 | 18 | 21 |
| 1.5 | 26 | 33 | 39 | 19 |
| 2 | 28 | 44 | 48 | 42 |
| 2.5 | 48 | 43 | 42 | 37 |
| 3 | 36 | 35 | 25 | 32 |
| 3.5 | 35 | 34 | 36 | 21 |
| 4 | 28 | 26 | 27 | 18 |
| 4.5 | 30 | 27 | 25 | 30 |
| 5 | 27 | 23 | 23 | 26 |
| 5.5 | 18 | 17 | 20 | 25 |
| 6 | 11 | 14 | 14 | 17 |
| 6.5 | 19 | 19 | 18 | 12 |
| 7 | 12 | 16 | 7 | 16 |
| 7.5 | 8 | 4 | 9 | 11 |
| 8 | 10 | 7 | 6 | 11 |
| 8.5 | 6 | 6 | 2 | 8 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 4 |
| 9.5 | 2 | 1 | 1 | 10 |
| 10 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 10.5 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| JUMLAH | 365 | 366 | 365 | 365 |

Sumber : Olahan Data BMKG Maritim Bitung.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D

NASA Surface meteorology and Solar Energy: HOMER Data



Latitude **0.457** / Longitude **127.411** was chosen.

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²/day)

Lat 0.457 / Lon 127.411

| | |
|-----|------|
| Jan | 5.94 |
| Feb | 6.09 |
| Mar | 6.31 |
| Apr | 6.17 |
| Mey | 5.79 |
| Jun | 5.42 |
| Jul | 5.48 |
| Aug | 5.87 |
| Sep | 6.22 |
| Oct | 6.32 |
| Nov | 6.08 |
| Dec | 5.87 |

Daily Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface

Location: Latitude 0.457 Longitude 127.411

Responsible > Data: Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.
Officials > Archive: John M. Kusterer
Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC](#) User
Services ([Contact Us](#))
([Privacy Policy and Important Notices](#))
Document generated on Tue Oct 6 09:20:16 EDT 2015

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN E

Data Kondisi Kelistrikan Pulau Moti

1. Data Generator Diesel Kelurahan Takofi

Pengelola Generator Diesel : Isnain D Samad

Rumah yang tidak memakai listrik = 7 Rumah, dan yang memakai Genset Pribadi 13 Rumah, masing-masing Genset 3 kW.

Tabel 1. Spesifikasi Generator Diesel Kelurahan Takofi

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|--|
| Kapasitas Daya Generator | 30 kW (Masih Beroperasi Baik) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2002, Bantuan Program Pengembangan Kecamatan Fase 1 Tahun Anggaran 2002 |
| Jam Operasi | 5 Jam/Hari (Jam 18:15 – 23:15 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | 95 Rumah |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | Solar = 25 Liter/Hari @Rp.10.000 = 25 L/Hari × 365 Hari × Rp.10.000,- = Rp.91.250.000/Tahun Oli = 9 Liter/Bulan @Rp.35.000 = 9 Liter/Bulan × 12 Bulan × Rp.35.000 = Rp.3.780.000/Tahun Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun = Rp.95.030.000 |
| Biaya Perawatan | Rp.14.000.000/Tahun |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Piston, Ring, Dranstop |
| Pemasukan dari penjualan listrik | Rp.9.420.000/Bulan (Rp.113.040.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | PNS = Rp.110.000/Bulan Petani = Rp.90.000/Bulan Petani +TV = Rp.100.000 |
| Pembatasan Daya per-rumah | 150 Watt/Rumah |
| Permasalahan | Pada beban puncak Jam 19:00 – 21:00 WIT, generator tidak mampu memikul beban, sehingga lampu Pelanggan di rumah menjadi redup dan TV mati. |

Sumber : Hasil wawancara dengan pengelola Generator Diesel; Bapak Isnain D Samad.

2. Data Generator Diesel Kelurahan Figur

2.1 Desa Fitako

Pengelola Generator Diesel : Rustam Marsaoli

Jumlah Rumah Desa Fitako = 60 Rumah, yang tidak memakai listrik = 3 Rumah, dan yang memakai Genset Pribadi 10 Rumah, masing-masing Genset 3 kW.

Tabel 2.1. Spesifikasi Generator Diesel Desa Fitako

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|--|
| Kapasitas Daya Generator | 30 kW (Masih Beroperasi Baik) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2004, Bantuan Program Pengembangan Kecamatan Fase II, Tahun Anggaran 2004 |
| Jam Operasi | 4 Jam/Hari (Jam 18:00 – 22:15 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | 57 Rumah |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | Solar = 20 Liter/Hari @Rp.9.000 = 20 L/Hari × 365 Hari × Rp.9.000,- = Rp.65.700.000/Tahun Oli = 7 Liter/Bulan @Rp.27.500 = 7 Liter/Bulan × 12 Bulan × Rp.27.500 = Rp.2.310.000/Tahun Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun = Rp.68.010.000 |
| Biaya Perawatan | Dinamo 1 kali ganti + ongkos = Rp.28.000.000 (Dinamo diganti 1 kali ganti dalam 3 Tahun) Fembel diganti per-3 bulan = 3 Buah @Rp.40.000 = Rp.40.000 × 3 Buah × (12/3) Bulan = Rp.480.000 Nosel 1 kali ganti/Tahun = Rp.25.000 Total Biaya Perawatan/Tahun = Rp.9.838.333,3 |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Dinamo, Fembel, dan Nosel |
| Pemasukan dari penjualan listrik | Rp.5.700.000/Bulan (Rp.68.400.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | Tidak ada klasifikasi Pelanggan, Iuran Bulanan/Rumah = Rp.100.000/Bulan |
| Pembatasan Daya per-rumah | Tidak ada pembatasan Daya |
| Permasalahan | Semua pembelian BBM dan Suku Cadang di beli di Ternate, sehingga cuaca laut yang menjadi kendala. |

Sumber : Hasil wawancara dengan pengelola Generator Diesel; Bapak Rustam Marsaoli.

2.2 Desa Guramadehe

Pengelola Generator Diesel : Insar Naser (Ketua RW Guramadehe)

Jumlah Rumah Desa Guramadehe = 30 Rumah, yang tidak memakai listrik = 3 Rumah, dan yang memakai Genset pribadi 5 Rumah, masing-masing Genset 3kW.

Tabel 2.2. Spesifikasi Generator Diesel Desa Guramadehe

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|--|
| Kapasitas Daya Generator | 10 kW (Dalam Kondisi Rusak, Rusak pada bulan Juli 2014) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2004, Bantuan Program Pengembangan Kecamatan Fase II, Tahun Anggaran 2004 |
| Jam Operasi | 3,5 Jam/Hari (Jam 18:30 – 10:00 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | 27 Rumah |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | Solar = 24 Liter/Hari @Rp.9.000 = 24 L/Hari × 365 Hari × Rp.9.000,- = Rp.78.840.000/Tahun Oli = 4 Kaleng/Bulan @Rp.42.500 = 4 Kaleng/Bulan × 12 Bulan × Rp.42.500 = Rp.2.040.000/Tahun Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun = Rp.80.880.000 |
| Biaya Perawatan | Kerusakan Piston, per-bulan 2 – 3 kali Rusak. Perawatan @Rp.300.000/1kali servis. Total Biaya Perawatan/Tahun = Rp.10.800.000 |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Piston, diservis |
| Pemasukan dari penjualan listrik | Rp.2.700.000/Bulan (Rp.32.400.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | Tidak ada klasifikasi Pelanggan, Iuran Bulanan/Rumah = Rp.100.000/Bulan |
| Pembatasan Daya per-rumah | Tidak ada pembatasan Daya |
| Permasalahan | Generator Diesel dalam keadaan rusak dan belum ada yang bisa memperbaiki. |

Catatan : Untuk sementara penduduk Desa Guramadehe menggunakan listrik dari Genset pribadi yang di milik oleh beberapa KK.

Sumber : *Pengelola Generator Diesel : Insar Naser (Ketua RW Guramadehe)*

3. Generator Diesel Kelurahan Tafamutu

Pengelola Generator Diesel : Bapak Jafar

Jumlah Rumah Kelurahan Tafamutu = 178 Rumah, Listrik 100% terpasang, dan yang memakai Genset Pribadi : di RT.01 = 10 Rumah masing-masing Genset 3 kW; RT.02 = 7 Rumah masing-masing 3 kW dan 1 Rumah = 0,9 kW.

Tabel 3. Spesifikasi Generator Diesel Kelurahan Tafamutu

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|---|
| Kapasitas Daya Generator | 60 kVA/48kW (Masih Beroperasi Baik) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2012, Bantuan dari Dinas Tata Kota |
| Jam Operasi | 5 Jam/Hari (Jam 18:00 – 23:00 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | 160 Rumah |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | Solar = 60 Liter/Hari Pembelian solar 1Drum = 220 Liter = 1,7 Juta = ±Rp.170.000.000/Tahun Oli = 9 Liter/Bulan @Rp.35.000 = 9 Liter/Bulan × 12 Bulan × Rp.35.000 = Rp.3.780.000/Tahun Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun= Rp.173.780.000 |
| Biaya Perawatan | Biaya Perawatan dalam 2 Tahun terakhir ini; Swit Oli 1 kali ganti Rp.1.500.000 Filter Minyak Rp.250.000 Sekring Batu 3 Buah @Rp.100.000 Sekun Kabel 6 Buah @Rp.25.000 Total Biaya Perawatan/Tahun = Rp.1.100.000 |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Swit Oli, Filter Minyak, Sekring, Sekun Kabel |
| Pemasukan dari penjualan listrik | Rp.16.000.000/Bulan (Rp.192.000.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | Persyaratan Pelanggan; Penerangan/Lampu Saja = Rp.95.000 Lampu + TV + Kulkas + Pompa Air + Mesin Cuci = Rp.135.000 |
| Pembatasan Daya per-rumah | Seperti pada Persyaratan Pelanggan |
| Permasalahan | Pernah tidak nyala karena harus membeli Swit Minyak di Surabaya. |

Sumber : Hasil wawancara dengan pengelola Generator Diesel; Bapak Jafar.

4. Generator Diesel Kelurahan Kota Moti

Jumlah Rumah Kelurahan Kota Moti dari RT.01 s/d RT.08 = 620 Rumah (Termasuk rumah dinas), yang memakai Genset Pribadi : 73 Rumah masing-masing Genset 3KW; dan 82 Rumah masing-masing Genset 0,9 KW (900Watt).

Tabel 4. Spesifikasi Generator Diesel Kelurahan Kota Moti

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|---|
| Kapasitas Daya Generator | 180 kVA/150kW (Masih Beroperasi Baik) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2007 |
| Jam Operasi | 3,5 Jam/Hari (Jam 18:20 – 22:00 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | 285 Rumah (Pelanggan bulan Agustus 2014) |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | Solar = 105 Liter/Hari Pembelian solar 1Drum = 220 Liter = 1,6 Juta = ±Rp.279.000.000/Tahun Oli = 1 Dos/Bulan @Rp.660.000 = Rp.660.000 × 12 Bulan = Rp.7.920.000/Tahun Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun = Rp.286.920.000 |
| Biaya Perawatan | Total Biaya Perawatan/Tahun = Rp.24.000.000 |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Ring Piston, Crank Pin Metal, Bolt Con Rod, Mur Bolt Con Rod (pesan di Surabaya) dan Konektor Tab, Air Aki (Beli di Ternate) |
| Pemasukan dari penjualan listrik | ±Rp.31.000.000/Bulan (Rp.372.000.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | Persyaratan Pelanggan; Penerangan/Lampu Saja = Rp.100.000 Penerangan/Lampu + Alat Elektronik Lain = Rp.135.000 |
| Pembatasan Daya per rumah | Seperti pada Persyaratan Pelanggan |
| Permasalahan | Terkadang pengeluaran perbaikan mesin lebih besar dari pada pemasukan saldo; Rusak I Tahun 2009; II Tahun 2010, III Oktober 2012, dan Rusak IV pada September 2013 membutuhkan biaya Rp.34.600.000 untuk perbaikan dan penggantian Piston dan Turbo. |

Sumber : Hasil wawancara dengan Lurah Kota Moti, Bpk. Ahmad Yasin

5. Generator Diesel Kelurahan Tafaga

Spesifikasi Generator Diesel Kelurahan Tafaga : 30 kW, Operasi Tahun 2004, Bantuan Program Pengembangan Kecamatan Fase II, Tahun Anggaran 2004, namun Kondisi Generator Diesel Sudah rusak sejak tahun 2007. Sejak saat itu masyarakat hanya mengandalkan beberapa warga yang memiliki Genset Pribadi untuk disambungkan/dijual ke masyarakat. Berikut Beberapa Genset Pribadi Yang dijual ke Pelanggan :

5.1 Desa Tafaga

Genset 10 KW (Pemilik : Wahid Hi Yusuf)

Tahun operasi 2006 dengan jumlah pelanggan 30 Rumah. Jam operasi yaitu jam 18:15 – 22:15 WIT, Bahan bakar yang digunakan Solar dan Oli; Solar 9 Liter/Hari @Rp.10.000 dan Oli 3 Liter/Bulan @Rp.35.000.

Iuran bulanan @Rp.100.000, hanya untuk lampu penerangan. Untuk Biaya perawatan : 3 s/d 4 bulan sekali diganti 2 Boster @Rp.15.000, Tiap bulan 3 Vembel diganti dan untuk periode 6 tahun sekali Dinamo diganti = Rp.3.000.000

Genset 3 kW (Pemilik : Bapak Ismat)

Genset ini dioperasikan dari jam 19:00 – 22:00 WIT, dengan sambungan ke pelanggan sebanyak 5 Rumah.

Genset 3 kW (Pemilik : Bapak Kadam)

Tahun operasi Genset ini 2012, di beli dari tangan ke-2 dengan harga Rp.4.000.000. Jika beli baru harga di Toko Rp.14.000.000.

Jumlah Pelanggan 12 Rumah dengan iuran bulanan @Rp.100.000/Rumah. Ini berarti pemasukan tiap bulanya sebesar Rp.1.200.000.

Jam Operasi Genset ini mulai jam 18:20 – 22:15 WIT, Pemakaian Bahan Bakar : Solar 5 Liter/Hari @Rp.8.000; Oli 2 Liter/Bulan; untuk pembelian 5 Liter Oli = Rp.140.000.

Biaya Perawatan diperkirakan Rp.300.000/Tahun. Suku Cadang yang biasa rusak/diganti seperti : Boster, Vambel, Sinyal Oli.

Genset 10 kW (Pemilik : Junaib Majid)

Generator ini berada di RT.01 Kelurahan Tafaga, Tahun Operasi 2005 dengan jumlah pelanggan 13 Rumah.

Jam Operasi; 18:15 – 22:00 WIT. Bahan Bakar Yang digunakan; Solar 6 Liter/Hari @Rp.9.000; Oli 3 Liter/Bulan @Rp.40.000.

Perawatan per-6 Bulan diperkirakan Rp.600.000. Iuran bulanan @Rp.100.000 dengan pemasukan tiap bulan untuk 13 pelanggan = Rp.1.300.000.

Di RT 01 terdapat 3 Rumah yang tidak menggunakan listrik.

5.2 Dusun Dobang

Genset Umum Dusun Dobang

Generator ini berkapasitas 10 kW (2004) untuk melayani 10 Rumah, dengan jam operasi mulai dari 18:30 – 22:00 WIT. Iuran bulanan @Rp.100.000, (Harga Solar = Rp.10.000/L).

Di RT.04 ini (Dusun Dobang) terdapat 3 Rumah yang menggunakan genset pribadi dengan kapasitas 3 kW, 5 Rumah menggunakan Modul PV hanya untuk lampu penerangan; 2 Rumah memakai 2 Modul dan 3 Rumah 1 Modul; dengan kapasitas 1 modul 3 mata lampu. Untuk 1 modul dibeli dengan harga 1,5 Juta Rupiah.

Jumlah Rumah di RT.04 ini = 23 Rumah, 1 Mesjid, 1 Sekolah Dasar.

6. Generator Diesel Kelurahan Tadenas

6.1 Desa Tadena

Pengelola Generator Diesel : Bapak Hasan Adam

Jumlah Pelanggan Desa Tadena adalah 65 Rumah, 1 Mesjid, 2 Sekolah dan 1 Polindes. Yang memakai Genset Pribadi = 7 Rumah masing-masing Genset 3 kW, dengan 1 Genset disambungkan ke tetangga. Terdapat 2 Rumah tidak terpasang Listrik, mereka menggunakan penerangan lampu minyak tanah.

Tabel 6.1 Spesifikasi Generator Diesel Desa Tadena

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|---|
| Kapasitas Daya Generator | 30 kW (Masih Beroperasi Baik) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2004, Bantuan Program Pengembangan Kecamatan Fase 2 Tahun Anggaran 2004 |
| Jam Operasi | 5 Jam/Hari (Jam 18:00 – 23:00 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | 65 Rumah, 1 Mesjid, 2 Sekolah dan 1 Polindes |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | Solar = 20 Liter/Hari @Rp.9.000 = 20 L/Hari × 365 Hari × Rp.9.000,- = Rp.65.700.000/Tahun Oli = 9 Liter/2 Bulan @Rp.35.000 = 9 Liter × 6 × Rp.35.000 = Rp.1.890.000/Tahun Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun = Rp.67.590.000 |
| Biaya Perawatan | Rp.5.000.000/Tahun |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Selang Minyak, karet. |
| Pemasukan dari penjualan listrik | ±Rp.6.000.000/Bulan (Rp.72.000.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | Lampu + TV + Pompa Air = Rp.120.000/Bulan Lampu + TV = Rp.100.000/Bulan Lampu = Rp.90.000/Bulan |
| Pembatasan Daya per-rumah | Pembatasan daya seperti pada Klasifikasi Pelanggan |
| Permasalahan | Pada kondisi cuaca laut yang kurang baik, maka pembelian BBM jadi kendala. Kadang sampai 2 minggu tidak beroperasi. |

Sumber : Hasil wawancara dengan pengelola Generator Diesel; Hasan Adam

6.2 Desa Nanas

Pengelola Generator Diesel : Bapak Tauhid Talib

Tabel 6.2 Spesifikasi Generator Diesel Desa Nanas

| URAIAN | KETERANGAN |
|--|--|
| Kapasitas Daya Generator | 5 kW (Dalam kondisi beroperasi baik) |
| Harga Beli/Tahun Operasi | Tahun 2011 |
| Jam Operasi | 3,5 Jam/Hari (Jam 18:30 – 10:00 WIT) |
| Jumlah pelanggan (Rumah/KK) | ±20 Rumah |
| Bahan Bakar yang digunakan | Solar dan Oli |
| Biaya Bahan bakar (Liter/Rp) | $\text{Solar} = 15 \text{ Liter/Hari @Rp.9.000}$ $= 15 \text{ L/Hari} \times 365 \text{ Hari} \times \text{Rp.9.000,-}$ $= \text{Rp.49.275.000/Tahun}$ $\text{Oli} = 3 \text{ Liter/Bulan @Rp.35.000}$ $= 3 \text{ Liter} \times 12 \text{ Bulan} \times \text{Rp.35.000}$ $= \text{Rp.1.260.000/Tahun}$ $\text{Total Biaya (Solar + Oli)/Tahun} = \text{Rp.50.535.000}$ |
| Biaya Perawatan | Total Biaya Perawatan/Tahun = Rp.2.000.000 |
| Peralatan/Onderdil/Suku Cadang Yang sering rusak/diganti | Belum ada |
| Pemasukan dari penjualan listrik | ±Rp.2.000.000/Bulan (Rp.24.000.000/Tahun) |
| Klasifikasi Pelanggan | Tidak ada klasifikasi Pelanggan, Iuran Bulanan/Rumah = Rp.100.000/Bulan |
| Pembatasan Daya per-rumah | Hanya untuk penerangan |
| Permasalahan | Diesel beroperasi kalau ada BBM |

Sumber : Hasil wawancara dengan pengelola Generator Diesel; Bapak Tauhid Talib dan Bpk Hasan Adam

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN F

Data Komponen Pembangkit Listrik Hibrida (PLH)

1. Panel Surya 300 WP Shinyoku Polycrystalline

PanelSuryaJakarta.Com

<http://panelsuryajakarta.com/panel-surya-300-wp-shinyoku-polycrystalline/>



Harga Rp 5.100.000

Detail Produk Panel Surya 300 WP Shinyoku Polycrystalline

| Spesifikasi | Keterangan |
|------------------------------------|--------------------|
| Max. Power (Pmax) | 300W |
| Max. Power Voltage (Vmp) | 36.2V |
| Max. Power Current (Imp) | 8.28A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 43.4V |
| Short Circuit Current (Isc) | 9.27A |
| Nominal Operating Cell Temp (NOCT) | 45±2°C |
| Max. System Voltage | 1000V |
| Max. Series Fuse | 16A |
| Weight | 20.65Kg |
| Dimension | 1956 x 992 x 40 mm |

2. Diesel Generator

<http://www.alibaba.com/>

ISO CE certified 125 kVA 100 kW Diesel generator with cummins engine

FOB Price: US \$9,500 - 12,000 / Set

Description:

Technical data

| | |
|--|----------------------|
| Genset Model | JHK-100GF |
| Prime Power | 100KW/125KVA |
| Rated Voltage | 400/230V |
| Frequency | 50/60Hz |
| Power Factor | 0.8(lagging) |
| The regulating rate of steady voltage | $\leq \pm 0.5\%$ |
| The regulating rate of instantaneous voltage | $\leq -15\% / +20\%$ |
| The time of steady voltage | $\leq 1.5\text{sec}$ |
| The waving rate of voltage | $\leq 1.0\%$ |
| The regulating rate of steady frequency | $\leq 3\%$ |
| The regulating rate of instantaneous frequency | $\leq \pm 10\%$ |
| The time of steady frequency | 3sec |
| Dimension (L×W×H) (mm) | 2300*800*1300 |
| Genset weight (kg) | 1300 |

Diesel Engine

| | |
|-------------------------------|--|
| Brand | Cummins |
| Model | 6BTA5.9-G2 |
| Number of Cylinders | 6 |
| Rotating Speed | 1500/1800RPM |
| Cycle | Four stroke |
| Type | waste gas turbine boost,direct spurting type |
| Bore×Stroke(mm) | 102*120 |
| Displacement(L) | 5.9 |
| Lubricating Capacity(L) | 16 |
| Speed Governor | Electrical |
| Cooling System | Water-cooled |
| Speed Stability (%) | $\leq 5\%$ |
| Fuel Consumption at 100% Load | 208g/kw.h |
| Starting Method | DC24V Electrical starting |

Alternator

| | |
|--------------------|--|
| Brand | Stamford |
| Model | |
| Number of Phase | 3 |
| Connecting Type | Three Phase and Four Lines |
| Number of Bearing | 1 |
| Grading Protection | IP22 |
| Altitude | $\leq 1000\text{m}$ |
| Exciter Type | Brushless (AVR automatic voltage regulating) |
| Insulation Class | H degree |

The components of the genset

(1) Cummins Diesel Engine; (2)Stamford Alternator; (3) Control Panel

3. Vision 6FM200D-X Battery 12V 200Ah

<http://www.osibatteries.com/>

Price: \$365.50



6FM200D-X Battery Specifications:

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| Chemistry: | Sealed Lead Acid |
| Voltage: | 12v |
| Nominal Capacity: | 200Ah |
| Dimensions in Inches (L x W x H): | 20.55 x 9.37 x 8.58 |
| Terminals: | M8 |
| Weight (lbs): | 143.3 |
| Warranty: | 12 months |
| Condition: | Brand New |

www.vision-batt.com

Performance Characteristics

| | |
|--|--------------|
| Nominal Voltage | 12V |
| Number of cell | 6 |
| Design Life | 10 years |
| Nominal Capacity 77°F(25°C) | |
| 20 hour rate (10.0A, 10.8V) | 200Ah |
| 10 hour rate (18.7A, 10.8V) | 187Ah |
| 5 hour rate (35.8A, 10.5V) | 179Ah |
| 1 hour rate (126A, 9.6V) | 126Ah |
| Operating Temperature Range | |
| Discharge | -20~60°C |
| Charge | -10~60°C |
| Storage | -20~60°C |
| Max. Discharge Current 77°F(25°C) | 1000A(5s) |
| Short Circuit Current | 3300A |
| Charge Methods: Constant Voltage Charge 77°F(25°C) | |
| Cycle use | 2.40-2.45VPC |
| Maximum charging current | 60A |
| Temperature compensation | -30mV/oC |
| Standby use | 2.20-2.30VPC |
| Temperature compensation | -20mV/oC |

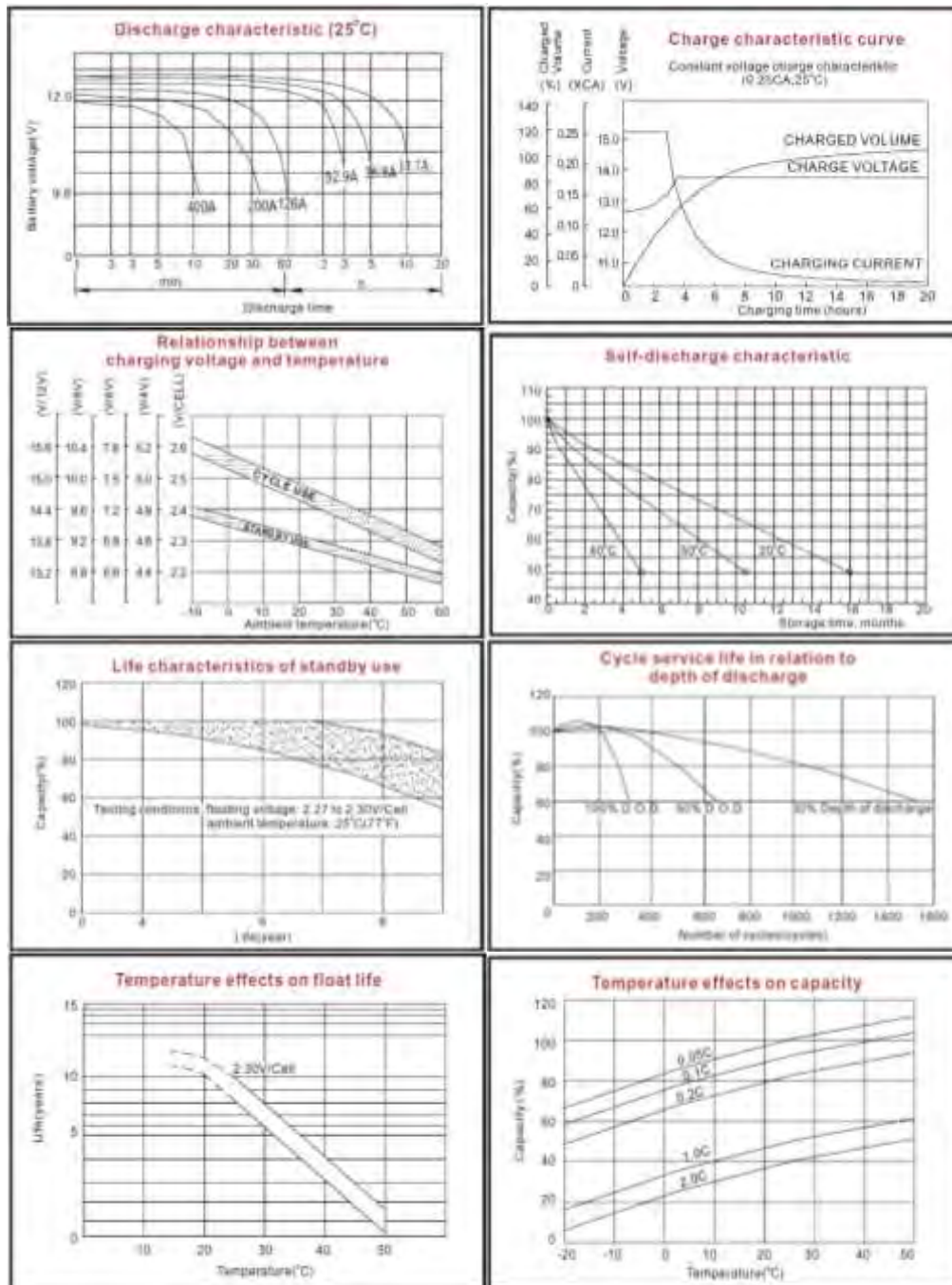
Discharge Constant Current (Amperes at 77°F25°C)

| End Point Volts/Cell | 15min | 30min | 45min | 1h | 3h | 5h | 10h | 20h |
|-------------------------|-------|-------|-------|-----|------|------|------|------|
| 1.60V | 350 | 215 | 156 | 126 | 57.0 | 38.0 | 19.1 | 10.8 |
| 1.65V | 340 | 207 | 150 | 122 | 55.0 | 37.0 | 19.0 | 10.6 |
| 1.70V | 327 | 201 | 146 | 118 | 54.5 | 36.4 | 18.9 | 10.4 |
| 1.75V | 310 | 195 | 142 | 115 | 52.9 | 35.8 | 18.8 | 10.2 |
| 1.80V | 261 | 182 | 137 | 112 | 50.5 | 35.2 | 18.7 | 10.0 |

Discharge Constant Power (Watts at 77oF/25oC)

| End Point Volts/Cell | 15min | 30min | 45min | 1h | 2h | 3h | 5h |
|----------------------|-------|-------|-------|-----|-----|------|------|
| 1.60V | 607 | 392 | 288 | 227 | 137 | 108 | 72.6 |
| 1.65V | 586 | 380 | 280 | 222 | 135 | 106 | 71.6 |
| 1.70V | 569 | 373 | 274 | 218 | 132 | 104 | 70.8 |
| 1.75V | 561 | 363 | 269 | 214 | 128 | 100 | 69.9 |
| 1.80V | 538 | 355 | 265 | 212 | 125 | 97.0 | 69.0 |

6FM200D-X / 12V200Ah



4. Inverter



- Capable to use with multiple renewable energy sources in both DC coupling and AC coupling such as solar (PV) panel, wind turbine generator and micro hydro generator
 - Monitor energy available from the renewable energy (DC) sources and minimize the charging current from the diesel generator
 - Automatic / Manual generator control
 - Automatic battery equalization (option) to prevent battery capacity loss and prolong battery life
 - Battery temperature compensation (Temperature sensor is not included)
 - Preset time schedule by System Command Unit (SCU) for automatic controlling the auxiliary power sources such as generators in mini-grid system (option)
 - Operate with Hybrid System Control Command Unit (HCCU)
 - IP65 protection outdoor enclosure (option)
 - ISO 9001 and ISO 14001 certified factory
-
- Three phase bidirectional inverter with built-in output transformer
 - Low harmonic distortion (less than 3%)
 - High efficiency > 95%
 - High reliability design for remote area
 - Seperate DC Bus for multiple source charging

| MODEL | | MTP-619F | MTP-6110F | MTP-6111H | MTP-6113H | MTP-6115H | MTP-6117H |
|-----------------|-----------------------------|--|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| RATED POWER | | 100 kW | 120 kW | 150 kW | 200 kW | 250 kW | 300 kW |
| BATTERY | Nominal Voltage | 240 Vdc | | 480 Vdc | | | |
| | Max.charging current | 280 A | 335 A | 200 A | 280 A | 350 A | 418 A |
| | Max. battery current | 570 A | 680 A | 425 A | 570 A | 710 A | 850 A |
| EXTERNAL DC | Nominal Voltage | 240 Vdc | | 480 Vdc | | | |
| CHARGER | Maximum current | 400 A | 400 A | 300 A | 400 A | 400 A | 500 A |
| AC INPUT FROM | Recommended generator power | > 200 kW | > 240 kW | > 300 kW | > 400 kW | > 500 kW | > 600 kW |
| GENERATOR | Voltage | 380 / 400 / 415 Vac (L-L), 220 / 230 / 240 Vac (L-N) $\pm 10\%$ | | | | | |
| | Phase | Three phase | | | | | |
| | Frequency | 50 / 60 Hz ± 3 Hz | | | | | |
| | Max.AC current | 319 A | 382 A | 478 A | 637 A | 796 A | 955 A |
| | Automatic strat/stop | Relay dry contact 10 A (2 sets of ACC contact for 2 generators) | | | | | |
| AC OUTPUT | Voltage | 380 / 400 / 415 Vac (L-L), 220 / 230 / 240 Vac (L-N) | | | | | |
| | Voltage regulation | $\pm 3\%$ (steady load), < 7% at 100% step load within 0.1 sec. | | | | | |
| | Phase | Three phase | | | | | |
| | Frequency | 50 / 60 Hz $\pm 0.1\%$ (auto sensing) | | | | | |
| | Wave form | Pure sine wave | | | | | |
| | Total harmonic distortion | total < 3% | | | | | |
| | Max.surge current | 20% | | | | | |
| | Max.AC current | 151.5 A | 181.8 A | 227.3 A | 303 A | 378.8 A | 454.5 A |
| ISOLATION | Galvanic isolation | YES | | | | | |
| EFFICIENCY | Inverter peak efficiency | > 95% | | | | | |
| PROTECTION | | Over current, Over load, Short circuit, Over temperature, Over voltage, Under voltage | | | | | |
| INDICATOR | LED | External charging, Bypass, Generator running, Generator Failure, Stand by/Run, Inverter, Charging, Load on Inverter, Overload, Low Battery, High temperature, Fault | | | | | |
| | LCD display | Inverter & Generator (voltage, current, frequency, power, reactive power); Battery (voltage, current, state of charge, charging current), Heat sink temperature, battery temperature, Equalization date, today DC/AC Inverter energy (input/output), Accumulated DC/AC energy (input/output), System status, Time, Date, Data log. | | | | | |
| AUDIABLE ALARM | | Low Battery, Inverter fault, High temperature | | | | | |
| COOLING | | Automatic cooling fan | | | | | |
| ENVIRONMENT | Temperature | 0 - 45 °C | | | | | |
| | Relative humidity | 0 - 95% (Non - condensing) | | | | | |
| DESIGN | Standard | AS/NZ 3100:2002, IEC 61683 (for efficiency test) | | | | | |
| REGULATION | Enclosure | IP65 (option) | | | | | |
| DIMENTION | Control unit | 80 x 205 x 105 | | | 110 x 205 x 105 | | |
| W x H x D (cm) | Transformer unit | 120 x 205 x 105 | | | 110 x 205 x 105 | | |
| WEIGHT | Control unit | 550 | | | 775 | | |
| (approx. in kg) | Transformer unit | 935 | 1,200 | 1,320 | 1,220 | 1,300 | 1,500 |

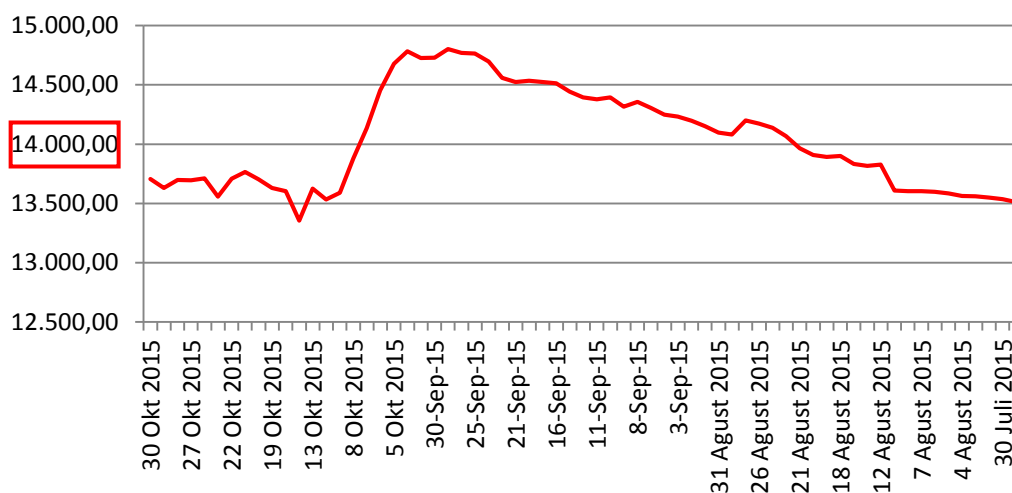
Authorized distributor; LEO ELECTRONICS CO. LTD; www.leonics.com (2015)

LAMPIRAN G

Nilai Tukar Mata Uang Rupiah Terhadap Dolar Amerika

www.bi.go.id

Grafik Nilai Tukar Rupiah (Rp) Terhadap Dolar Amerika (\$), Bulan Juli s/d Oktober 2015



| Tanggal | Rp/ \$ 1.00 | | | | |
|-------------|-------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| 30 Okt 2015 | 13,707.00 | 30-Sep-15 | 14,730.00 | 28 Agust 2015 | 14,081.00 |
| 29 Okt 2015 | 13,630.00 | 29-Sep-15 | 14,802.00 | 27 Agust 2015 | 14,199.00 |
| 28 Okt 2015 | 13,698.00 | 28-Sep-15 | 14,769.00 | 26 Agust 2015 | 14,173.00 |
| 27 Okt 2015 | 13,694.00 | 25-Sep-15 | 14,763.00 | 25 Agust 2015 | 14,137.00 |
| 26 Okt 2015 | 13,711.00 | 23-Sep-15 | 14,696.00 | 24 Agust 2015 | 14,068.00 |
| 23 Okt 2015 | 13,558.00 | 22-Sep-15 | 14,558.00 | 21 Agust 2015 | 13,964.00 |
| 22 Okt 2015 | 13,708.00 | 21-Sep-15 | 14,523.00 | 20 Agust 2015 | 13,907.00 |
| 21 Okt 2015 | 13,764.00 | 18-Sep-15 | 14,535.00 | 19 Agust 2015 | 13,893.00 |
| 20 Okt 2015 | 13,702.00 | 17-Sep-15 | 14,524.00 | 18 Agust 2015 | 13,900.00 |
| 19 Okt 2015 | 13,631.00 | 16-Sep-15 | 14,514.00 | 14 Agust 2015 | 13,832.00 |
| 16 Okt 2015 | 13,602.00 | 15-Sep-15 | 14,443.00 | 13 Agust 2015 | 13,816.00 |
| 15 Okt 2015 | 13,354.00 | 14-Sep-15 | 14,394.00 | 12 Agust 2015 | 13,827.00 |
| 13 Okt 2015 | 13,625.00 | 11-Sep-15 | 14,378.00 | 11 Agust 2015 | 13,609.00 |
| 12 Okt 2015 | 13,533.00 | 10-Sep-15 | 14,394.00 | 10 Agust 2015 | 13,604.00 |
| 9 Okt 2015 | 13,589.00 | 9-Sep-15 | 14,315.00 | 7 Agust 2015 | 13,604.00 |
| 8 Okt 2015 | 13,878.00 | 8-Sep-15 | 14,356.00 | 6 Agust 2015 | 13,597.00 |
| 7 Okt 2015 | 14,135.00 | 7-Sep-15 | 14,305.00 | 5 Agust 2015 | 13,585.00 |
| 6 Okt 2015 | 14,454.00 | 4-Sep-15 | 14,249.00 | 4 Agust 2015 | 13,562.00 |
| 5 Okt 2015 | 14,677.00 | 3-Sep-15 | 14,231.00 | 3 Agust 2015 | 13,559.00 |
| 2 Okt 2015 | 14,783.00 | 2-Sep-15 | 14,198.00 | 31 Juli 2015 | 13,548.00 |
| 1 Okt 2015 | 14,727.00 | 1-Sep-15 | 14,151.00 | 30 Juli 2015 | 13,535.00 |
| | | 31 Agust 2015 | 14,097.00 | 29 Juli 2015 | 13,511.00 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN H

Suku Bunga Bank Indonesia www.bi.go.id

Interest Rate, Bulan Nopember 2013 s/d Nopember 2015

| Tanggal | Interest Rate |
|-------------------|----------------------|
| 17 Nopember 2015 | 7.50 % |
| 15 Oktober 2015 | 7.50 % |
| 17 September 2015 | 7.50 % |
| 18 Agustus 2015 | 7.50 % |
| 14 Juli 2015 | 7.50 % |
| 18 Juni 2015 | 7.50 % |
| 19 Mei 2015 | 7.50 % |
| 14 April 2015 | 7.50 % |
| 17 Maret 2015 | 7.50 % |
| 17 Februari 2015 | 7.50 % |
| 15 Januari 2015 | 7.75 % |
| 11 Desember 2014 | 7.75 % |
| 18 Nopember 2014 | 7.75 % |
| 13 Nopember 2014 | 7.50 % |
| 7 Oktober 2014 | 7.50 % |
| 11 September 2014 | 7.50 % |
| 14 Agustus 2014 | 7.50 % |
| 10 Juli 2014 | 7.50 % |
| 12 Juni 2014 | 7.50 % |
| 8 Mei 2014 | 7.50 % |
| 8 April 2014 | 7.50 % |
| 13 Maret 2014 | 7.50 % |
| 13 Februari 2014 | 7.50 % |
| 9 Januari 2014 | 7.50 % |
| 12 Desember 2013 | 7.50 % |
| 12 Nopember 2013 | 7.50 % |

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I

PERHITUNGAN TEORITIS (Manual) *Net Present Cost (NPC)*

Total *Net Present Cost* (NPC) adalah nilai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya pengeluaran meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya *O & M*, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. Sedangkan yang termasuk pendapatan adalah nilai sisa dan pendapatan dari penjualan daya ke jaringan listrik.

A. Tahap-tahap perhitungan

Perhitungan untuk menentukan nilai *NPC* atau nilai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa proyek sistem PLH berlangsung menggunakan persamaan (2.16 – 2.28) dan mengikuti tahap-tahap berikut:

1) Menentukan nilai sisa (*S*) dari komponen sistem PLH pada akhir umur proyek.

a) R_{rep} : durasi biaya penggantian;

$$R_{rep} = R_{com} \times INT (R_{proj}/R_{comp})$$

b) R_{rem} : sisa umur komponen pada akhir masa proyek;

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep})$$

c) S : nilai sisa dari komponen pada akhir umur proyek;

$$S = C_{rep} \times (R_{rem}/R_{comp})$$

2) Menentukan biaya operasi dan perawatan/O&M cost ($C_{om, fixed}$)

Asumsi :

C_{c3} : pinalti untuk kekurangan kapasitas (\$/yr) = 0

$C_{emission}$: pinalti untuk emisi (\$/yr) = 0

Biaya O&M lainnya adalah jumlah dari biaya tetap O&M sistem, pinalti untuk kekurangan kapasitas dan pinalti untuk emisi;

$$C_{om, other} = C_{om, fixed} + C_{c3} + C_{emission}$$

3) Menentukan nilai *Annualized Replacement Cost* (C_{arep})

- a) $CRF()$: *Capital Recovery Factor* faktor pemulihan modal; i : suku bunga atau tingkat bunga; R_{proj} : Umur proyek (tahun); R_{comp} : Umur komponen (tahun);

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad \text{dan} \quad CRF(i, R_{comp}) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

- b) f_{rep} : faktor yang timbul dikarenakan masa pakai komponen dapat berbeda dari umur proyek;

$$f_{ref} = \begin{cases} CRF(i, R_{proj})/CRF(i, R_{rep}) & ; R_{rep} > 0 \\ 0 & ; R_{rep} = 0 \end{cases}$$

- c) $SFF()$ Faktor dana sinking merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai masa depan serangkaian besaran Arus kas tahunan;

$$SFF(i, R_{comp}) = \frac{i}{(1+i)^N - 1} \quad \text{dan} \quad SFF(i, R_{proj}) = \frac{i}{(1+i)^N - 1}$$

N : jumlah tahun umur proyek atau komponen.

- d) C_{arep} : nilai *Annualized Replacement Cost*

$$C_{arep} = C_{rep} \times f_{rep} \times SFF(i, R_{comp}) - S \times SSF(i, R_{proj})$$

4) Menentukan nilai *Annualized Capital Cost* (C_{cap})

C_{acap} : biaya modal tahunan setiap komponen;

$$C_{acap} = C_{cap} \times CRF(i, R_{proj}) \quad C_{cap} : \text{biaya modal komponen (pengadaan komponen)}$$

5) Menentukan nilai *fuel cost*

C_{fuel} : biaya bahan bakar diesel tahunan (\$/yr);

$$C_{fuel} = C_{o\&m, diesel} (\$/hr) \times \text{Diesel schedule (hr/day)} \times 1 \text{ year (day)}$$

6) Menentukan nilai *Total Annualized Cost* ($C_{ann,tot}$)

$C_{ann,tot}$: total biaya tahunan (\$/yr);

$$C_{ann,tot} = C_{acap} + C_{arep} + C_{om, fixed} + C_{fuel}$$

7) Menentukan nilai *Net present cost* (NPC)

C_{NPC} : total biaya selama masa proyek PLH;

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})}$$

B. Hasil Perhitungan

1. Konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%)

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------|--------|-------------------------|---------------|
| GEN 120 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; GEN) | (yr) | 6 | C cap (\$) | 14,400 |
| | R (replacement; GEN) | (yr) | 24 | C rep (\$) | 12,960 |
| | R (remaining life; GEN) | (yr) | 5 | C om (\$/hr) | 1.70 |
| | INT (R proj/R komp) | 4.167 | 4 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | | |
| | (1+i) | | 1.075 | | |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | | |
| | CRF (i, rep) | | 0.094 | Calculate Result | |
| | f (rep) | | 0.952 | C salvage | 10,800 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | C fuel | 72,473 |
| | SFF (i , komp) | | 0.062 | C om | 4,654 |
| | | | | C arep | 603 |
| | Fuel consum (L/yr) | | 90,591 | C acap | 1,292 |
| | Gen Schedule (hr/d) | | 7.5 | | |
| | Fuel price (\$/L) | | 0.8 | | |
| | 1 yr (d) | | 365 | Total | 79,021 |

| | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|-------------------------|---------------|
| PV 62 kWp | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; PV) | (yr) | 20 | C cap (\$) | 75,268 |
| | R (replacement; PV) | (yr) | 20 | C rep (\$) | 75,268 |
| | R (remaining life; PV) | (yr) | 15 | C om (\$/yr) | 62 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.25 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage (\$) | 56,451 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om (\$/yr) | 62 |
| | CRF (i, rep) | | 0.098 | C arep (\$/yr) | 759 |
| | f (rep) | | 0.915 | C acap (\$/yr) | 6,752 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.023 | Total | 7,574 |
| Battery 920 unit 1 unit = 2.4 kWh | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; Batt) | (yr) | 8 | C cap (\$) | 336,720 |
| | R (replacement; Batt) | (yr) | 24 | C rep (\$) | 303,048 |
| | R (remaining life; Batt) | (yr) | 7 | C om (\$/yr) | 92 |
| | INT (R proj/R komp) | 3.125 | 3 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 265,167 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 92 |
| | CRF (i, rep) | | 0.091 | C arep | 37,318 |
| | f (rep) | | 0.985 | C acap | 30,207 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.138 | Total | 67,617 |
| Converter 130 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; conv) | (yr) | 15 | C cap (\$) | 39,780 |
| | R (replacement; conv) | (yr) | 15 | C rep (\$) | 35,802 |
| | R (remaining life; conv) | (yr) | 5 | C om (\$/yr) | 1,300 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.667 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.50% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 11,934 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 1,300 |
| | CRF (i, rep) | | 0.113 | C arep | 910 |
| | f (rep) | | 0.792 | C acap | 3,569 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.038 | Total | 5,779 |

Keterangan :

| | |
|--|-------------------|
| | Input |
| | Penyesuaian Nilai |
| | Hasil Perhitungan |

Hasil perhitungan biaya tahunan konfigurasi PV(30%)+Diesel(70%)

| Komponent | Kategory | unit | Value cost |
|--------------------|-------------|-------|----------------|
| PV 102 kWp | Capital | \$/yr | 6,752 |
| (Lifetime : 20 yr) | Replacement | \$/yr | 759 |
| | Operating | \$/yr | 62 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Generator 120 kW | Capital | \$/yr | 1,292 |
| (Lifetime : 11 yr) | Replacement | \$/yr | 603 |
| | Operating | \$/yr | 4,654 |
| | Fuel | \$/yr | 72,473 |
| Vision 6FM200D | Capital | \$/yr | 30,207 |
| (Lifetime : 7 yr) | Replacement | \$/yr | 37,318 |
| | Operating | \$/yr | 92 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Converter | Capital | \$/yr | 3,569 |
| (Lifetime : 15 yr) | Replacement | \$/yr | 910 |
| | Operating | \$/yr | 1,300 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| TOTAL | | | 159,991 |

Hasil perbandingan biaya tahunan

| Component | Value cost_Manual (\$/yr) | Value cost_HOMER (\$/yr) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| PV | 7,573 | 7,573 |
| Generator | 79,022 | 80,437 |
| Vision 6FM200D | 67,617 | 52,505 |
| Converter | 5,779 | 5,779 |
| System | 159,991 | 146,294 |

Hasil perbandingan nilai NPC

| Kategory | unit | | value cost |
|-------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| JUMLAH Biaya Tahunan (Manual) | (\$/yr) | | 159,991 |
| JUMLAH Biaya Tahunan (HOMER) | (\$/yr) | | 146,294 |
| | | | |
| NPC (Manual) | (\$) | | 1,783,407 |
| NPC (HOMER) | (\$) | | 1,630,734 |
| | | | |
| | | Selisih (\$/yr) | 152,673 |
| | | Selisih (%) | 8.56 |

2. Konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%)

| | | | | | |
|---|--------------------------|-------|--------|-------------------------|---------------|
| PV 102 kWp | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; PV) | (yr) | 20 | C cap (\$) | 123,828 |
| | R (replacement; PV) | (yr) | 20 | C rep (\$) | 123,828 |
| | R (remaining life; PV) | (yr) | 15 | C om (\$/yr) | 102 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.25 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage (\$) | 92,871 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om (\$/yr) | 102 |
| | CRF (i, rep) | | 0.098 | C arep (\$/yr) | 1,249 |
| | f (rep) | | 0.915 | C acap (\$/yr) | 11,109 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.023 | Total | 12,460 |
| | | | | | |
| GEN 120 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; GEN) | (yr) | 11 | C cap (\$) | 14,400 |
| | R (replacement; GEN) | (yr) | 22 | C rep (\$) | 12,960 |
| | R (remaining life; GEN) | (yr) | 8 | C om (\$/hr) | 1.56 |
| | INT (R proj/R komp) | 2.273 | 2 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | | |
| | (1+i) | | 1.075 | | |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | | |
| | CRF (i, rep) | | 0.094 | Calculate Result | |
| | f (rep) | | 0.952 | C salvage | 9,425 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | C fuel | 42,626 |
| | SFF (i , komp) | | 0.062 | C om | 2,278 |
| | | | | C arep | 623 |
| | Fuel consum (L/yr) | | 53,282 | C acap | 1,292 |
| | Gen Schedule (hr/d) | | 4 | | |
| | Fuel price (\$/L) | | 0.8 | | |
| | 1 yr (d) | | 365 | Total | 46,818 |
| | | | | | |
| Battery 1067 unit 1 unit = 2.4 kWh | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; Batt) | (yr) | 6 | C cap (\$) | 390,522 |
| | R (replacement; Batt) | (yr) | 24 | C rep (\$) | 351,469 |
| | R (remaining life; Batt) | (yr) | 5 | C om (\$/yr) | 106 |
| | INT (R proj/R komp) | 4.167 | 4 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 292,891 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 106 |
| | CRF (i, rep) | | 0.091 | C arep | 43,496 |
| | f (rep) | | 0.985 | C acap | 35,034 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.138 | Total | 78,636 |
| | | | | | |

| | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------|-------|-------------------------|--------------|
| Converter 130 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; conv) | (yr) | 15 | C cap (\$) | 39,780 |
| | R (replacement; conv) | (yr) | 15 | C rep (\$) | 35,802 |
| | R (remaining life; conv) | (yr) | 5 | C om (\$/yr) | 1,300 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.667 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.50% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 11,934 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 1,300 |
| | CRF (i, rep) | | 0.113 | C arep | 910 |
| | f (rep) | | 0.792 | C acap | 3,569 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.038 | Total | 5,779 |

Keterangan :

| | |
|--|-------------------|
| | Input |
| | Penyesuaian Nilai |
| | Hasil Perhitungan |

Hasil perhitungan biaya tahunan konfigurasi PV(50%)+Diesel(50%)

| Komponent | Kategory | unit | Value cost |
|--|-----------------|-------------|-------------------|
| PV 102 kWp (Lifetime : 20 yr) | Capital | \$/yr | 11,109 |
| | Replacement | \$/yr | 1,249 |
| | Operating | \$/yr | 102 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Generator 120 kW (Lifetime : 11 yr) | Capital | \$/yr | 1,292 |
| | Replacement | \$/yr | 623 |
| | Operating | \$/yr | 2,278 |
| | Fuel | \$/yr | 42,626 |
| Vision 6FM200D (Lifetime : 7 yr) | Capital | \$/yr | 35,034 |
| | Replacement | \$/yr | 43,496 |
| | Operating | \$/yr | 106 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Converter (Lifetime : 15 yr) | Capital | \$/yr | 3,569 |
| | Replacement | \$/yr | 910 |
| | Operating | \$/yr | 1,300 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| TOTAL | | | 143,694 |

Hasil perbandingan biaya tahunan

| Component | Value cost_Manual (\$/yr) | Value cost_HOMER (\$/yr) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| PV | 12,460 | 12,460 |
| Generator | 46,819 | 46,903 |
| Vision 6FM200D | 78,636 | 72,254 |
| Converter | 5,779 | 5,779 |
| System | 143,694 | 137,396 |

Hasil perbandingan nilai NPC

| Kategory | unit | | value cost |
|-------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| JUMLAH Biaya Tahunan (Manual) | (\$/yr) | | 143,694 |
| JUMLAH Biaya Tahunan (HOMER) | (\$/yr) | | 137,396 |
| | | | |
| NPC (Manual) | (\$) | | 1,601,731 |
| NPC (HOMER) | (\$) | | 1,531,546 |
| | | | |
| | | Selisih (\$/yr) | 70,185 |
| | | Selisih (%) | 4.38 |

3. Konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%)

| | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|------|-------|-------------------------|---------------|
| PV 143 kWp | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponen; PV) | (yr) | 20 | C cap (\$) | 173,602 |
| | R (replacement; PV) | (yr) | 20 | C rep (\$) | 173,602 |
| | R (remaining life; PV) | (yr) | 15 | C om (\$/yr) | 143 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.25 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage (\$) | 130,202 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om (\$/yr) | 143 |
| | CRF (i, rep) | | 0.098 | C arep (\$/yr) | 1,751 |
| | f (rep) | | 0.915 | C acap (\$/yr) | 15,574 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.023 | Total | 17,468 |

| | | | | | |
|---|--------------------------|-------|--------|-------------------------|----------------|
| GEN 100 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; GEN) | (yr) | 13 | C cap (\$) | 12,000 |
| | R (replacement; GEN) | (yr) | 13 | C rep (\$) | 10,800 |
| | R (remaining life; GEN) | (yr) | 1 | C om (\$/hr) | 1.30 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.923 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | | |
| | (1+i) | | 1.075 | | |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | | |
| | CRF (i, rep) | | 0.094 | Calculate Result | |
| | f (rep) | | 0.952 | C salvage | 831 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | C fuel | 28,754 |
| | SFF (i , komp) | | 0.062 | C om | 1,424 |
| | Fuel consum (L/yr) | | 35,943 | C arep | 622 |
| | Gen Schedule (hr/d) | | 3 | C acap | 1,077 |
| | Fuel price (\$/L) | | 0.8 | | |
| | 1 yr (d) | | 365 | Total | 31,877 |
| Battery 1333 unit 1 unit = 2.4 kWh | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; Batt) | (yr) | 7 | C cap (\$) | 487,878 |
| | R (replacement; Batt) | (yr) | 21 | C rep (\$) | 439,090 |
| | R (remaining life; Batt) | (yr) | 3 | C om (\$/yr) | 133 |
| | INT (R proj/R komp) | 3.571 | 3 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 188,181 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 133 |
| | CRF (i, rep) | | 0.091 | C arep | 56,954 |
| | f (rep) | | 0.985 | C acap | 43,768 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.138 | Total | 100,855 |
| Converter 130 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; conv) | (yr) | 15 | C cap (\$) | 39,780 |
| | R (replacement; conv) | (yr) | 15 | C rep (\$) | 35,802 |
| | R (remaining life; conv) | (yr) | 5 | C om (\$/yr) | 1,300 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.667 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 11,934 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 1,300 |
| | CRF (i, rep) | | 0.113 | C arep | 910 |
| | f (rep) | | 0.792 | C acap | 3,569 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.038 | Total | 5,779 |

Keterangan :

| | |
|--|-------------------|
| | Input |
| | Penyesuaian Nilai |
| | Hasil Perhitungan |

Hasil perhitungan biaya tahunan konfigurasi PV(70%)+Diesel(30%)

| Komponent | Kategory | unit | Value cost (Manual) |
|--|-------------|-------|---------------------|
| PV 143 kWp (Lifetime : 20 yr) | Capital | \$/yr | 15,574 |
| | Replacement | \$/yr | 1,751 |
| | Operating | \$/yr | 143 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Generator 100 kW (Lifetime : 11 yr) | Capital | \$/yr | 1,077 |
| | Replacement | \$/yr | 622 |
| | Operating | \$/yr | 1,424 |
| | Fuel | \$/yr | 28,754 |
| Vision 6FM200D (Lifetime : 7 yr) | Capital | \$/yr | 43,768 |
| | Replacement | \$/yr | 56,954 |
| | Operating | \$/yr | 133 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Converter (130 kW) (Lifetime : 15 yr) | Capital | \$/yr | 3,569 |
| | Replacement | \$/yr | 910 |
| | Operating | \$/yr | 1,300 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| TOTAL | | | 155,979 |

Hasil perbandingan biaya tahunan

| Component | Value cost_Manual (\$/yr) | Value cost_HOMER (\$/yr) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| PV | 17,468 | 17,468 |
| Generator | 31,877 | 31,586 |
| Vision 6FM200D | 100,855 | 86,687 |
| Converter | 5,779 | 5,779 |
| System | 155,979 | 141,520 |

Hasil perbandingan nilai NPC

| Kategory | unit | | value cost |
|-------------------------------|-------------|--------------------|------------------|
| JUMLAH Biaya Tahunan (Manual) | (\$/yr) | | 155,979 |
| JUMLAH Biaya Tahunan (HOMER) | (\$/yr) | | 141,520 |
| | | | |
| NPC (Manual) | (\$) | | 1,738,683 |
| NPC (HOMER) | (\$) | | 1,577,512 |
| | | | |
| | | Selisih (\$/yr) | 161,171 |
| | | Selisih (%) | 9.27 |

4. Konfigurasi PV (100%)

| | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|-------------------------|----------------|
| PV 234 kWp | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; PV) | (yr) | 20 | C cap (\$) | 284,076 |
| | R (replacement; PV) | (yr) | 20 | C rep (\$) | 255,668 |
| | R (remaining life; PV) | (yr) | 15 | C om (\$/yr) | - |
| | INT (R proj/R komp) | 1.25 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage (\$) | 191,751 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om (\$/yr) | - |
| | CRF (i, rep) | | 0.098 | C arep (\$/yr) | 2,579 |
| Battery 920 unit 1 unit = 2.4 kWh | f (rep) | | 0.915 | C acap (\$/yr) | 25,485 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.023 | Total | 28,063 |
| | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; Batt) | (yr) | 6 | C cap (\$) | 737,124 |
| | R (replacement; Batt) | (yr) | 24 | C rep (\$) | 663,411 |
| | R (remaining life; Batt) | (yr) | 5 | C om (\$/yr) | 201 |
| | INT (R proj/R komp) | 4.167 | 4 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | Calculate Result | |
| Converter 190 kWp | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 552,843 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 201 |
| | CRF (i, rep) | | 0.091 | C arep | 82,101 |
| | f (rep) | | 0.985 | C acap | 66,128 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.138 | Total | 148,429 |
| | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; conv) | (yr) | 15 | C cap (\$) | 58,140 |
| | R (replacement; conv) | (yr) | 15 | C rep (\$) | 52,326 |
| | R (remaining life; conv) | (yr) | 5 | C om (\$/yr) | 1,900 |
| | INT (R proj/R komp) | 1.667 | 1 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.50% | 0.075 | Calculate Result | |
| | (1+i) | | 1.075 | C salvage | 17,442 |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | C om | 1,900 |
| | CRF (i, rep) | | 0.113 | C arep | 1,330 |
| | f (rep) | | 0.792 | C acap | 5,216 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | | |
| | SFF (i , komp) | | 0.038 | Total | 8,446 |

Hasil perhitungan biaya tahunan konfigurasi PV (100%)

| Komponent | Kategori | unit | Value cost |
|--------------------|-------------|-------|----------------|
| PV 234 kWp | Capital | \$/yr | 25,485 |
| (Lifetime : 20 yr) | Replacement | \$/yr | 2,579 |
| | Operating | \$/yr | - |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Vision 6FM200D | Capital | \$/yr | 66,128 |
| (Lifetime : 6 yr) | Replacement | \$/yr | 82,101 |
| | Operating | \$/yr | 201 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| Converter 190 kW | Capital | \$/yr | 5,216 |
| (Lifetime : 15 yr) | Replacement | \$/yr | 1,330 |
| | Operating | \$/yr | 1,900 |
| | Fuel | \$/yr | - |
| TOTAL | | | 184,940 |

Hasil perbandingan biaya tahunan

| Component | Value cost_Manual (\$/yr) | Value cost_HOMER (\$/yr) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| PV | 28,064 | 28,063 |
| Vision 6FM200D | 148,430 | 138,062 |
| Converter | 8,446 | 8,446 |
| System | 184,940 | 174,571 |

Hasil perbandingan nilai NPC

| Kategori | unit | | value cost |
|-------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| JUMLAH Biaya Tahunan (Manual) | (\$/yr) | | 184,940 |
| JUMLAH Biaya Tahunan (HOMER) | (\$/yr) | | 174,571 |
| | | | |
| NPC (Manual) | (\$) | | 2,061,499 |
| NPC (HOMER) | (\$) | | 1,945,937 |
| | | | |
| | | Selisih (\$/yr) | 115,562 |
| | | Selisih (%) | 5.61 |

5. Konfigurasi Diesel (100%)

| | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|------|---------|-------------------------|----------------|
| GEN 190 kW | R (project lifetime) | (yr) | 25 | Nominal Cost | |
| | R (komponent; GEN) | (yr) | 2 | C cap (\$) | 22,800 |
| | R (replacement; GEN) | (yr) | 24 | C rep (\$) | 20,520 |
| | R (remaining life; GEN) | (yr) | 1 | C om (\$/hr) | 1.62 |
| | INT (R proj/R komp) | 12.5 | 12 | | |
| | | | | | |
| | i (real interest rate) | 7.5% | 0.075 | | |
| | (1+i) | | 1.075 | | |
| | CRF (i,proj) | | 0.090 | | |
| | CRF (i, rep) | | 0.094 | Calculate Result | |
| | f (rep) | | 0.952 | C salvage | 10,260 |
| | SFF (i , proj) | | 0.015 | C fuel | 216,281 |
| | SFF (i , komp) | | 0.062 | C om | 14,147 |
| | | | | C arep | 1,055 |
| | Fuel consum (L/yr) | | 270,351 | C acap | 2,045 |
| | Gen Schedule (hr/d) | | 24 | | |
| | Fuel price (\$/L) | | 0.8 | | |
| | 1 yr (d) | | 365 | Total | 233,529 |

Keterangan :

| | |
|--|-------------------|
| | Input |
| | Penyesuaian Nilai |
| | Hasil Perhitungan |

Hasil perhitungan biaya tahunan konfigurasi Diesel (100%)

| Komponent | Kategory | unit | Value cost |
|-------------------|-------------|-------|----------------|
| Generator 190 kW | Capital | \$/yr | 2,045 |
| (Lifetime : 2 yr) | Replacement | \$/yr | 1,055 |
| | Operating | \$/yr | 14,147 |
| | Fuel | \$/yr | 216,281 |
| TOTAL | | | 233,528 |

Hasil perbandingan biaya tahunan

| Component | Value cost_Manual (\$/yr) | Value cost_HOMER (\$/yr) |
|-----------|---------------------------|--------------------------|
| Generator | 233,528 | 243,847 |

Hasil perbandingan nilai NPC

| Kategori | unit | | value cost |
|-------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| JUMLAH Biaya Tahunan (Manual) | (\$/yr) | | 233,529 |
| JUMLAH Biaya Tahunan (HOMER) | (\$/yr) | | 243,847 |
| | | | |
| NPC (Manual) | (\$) | | 2,603,130 |
| NPC (HOMER) | (\$) | | 2,718,147 |
| | | | |
| | | Selisih (\$/yr) | 115,017 |
| | | Selisih (%) | 4.42 |

C. Rekapitulasi

| Konfigurasi | Hasil Perhitungan | | Selisih (\$/yr) | Selisih (%) |
|-------------------------|-------------------|-------------|-----------------|-------------|
| | NPC (Teoritis) | NPC (HOMER) | | |
| Diesel (100%) | 2,603,130 | 2,718,147 | 115,017 | 4.42 |
| PV (100%) | 2,061,499 | 1,945,937 | 115,562 | 5.61 |
| PV (70%) + Diesel (30%) | 1,738,683 | 1,577,512 | 161,171 | 9.27 |
| PV (50%) + Diesel (50%) | 1,601,731 | 1,531,546 | 70,185 | 4.38 |
| PV (30%) + Diesel (70%) | 1,783,407 | 1,630,734 | 152,673 | 8.56 |

Hasil perhitungan nilai *NPC* secara teoritis (manual) dan nilai *NPC* dengan menggunakan *software HOMER* pada setiap sistem konfigurasi terdapat selisih perbedaan sebesar 4,38 – 9,27% dengan rincian; konfigurasi Diesel(100%) sebesar 4,42%, konfigurasi PV(100%) sebesar 5,61%, konfigurasi PV(70%) + Diesel(30%) sebesar 9,27%, konfigurasi PV(50%) + Diesel(50%) sebesar 4,38%, dan konfigurasi PV(30%) + Diesel(70%) sebesar 8,56%. Nilai persentase ini dapat dikatakan valid karena berada di bawah 10% nilai kesalahan relatif (*relative error*) bulanan pada perhitungan menggunakan *software HOMER*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S. (2011), *Pengembangan Model dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) Dengan Metode Petri Net*, Tesis Magister Teknik., Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Alibaba (2015), Zising Diesel Generator & Power Inverter DC/AC, <http://alibaba.com/> [di akses Oktober 2015].
- Alkababjie, M.F., dan Hamdon, W.H. (2012), “Feasibility and Environmental Effects Study of Adding Micro Hydro Power Plant, Converter and Batteries to Diesel Generators Using in Electrification a Remote Iraqi Village”, *The First National Conference for Engineering Sciences FNCES'12*, November 7-8, 2012, Electrical Engineering Department University of Mosul Mosul, Iraq.
- Anayochukwu, A.V. (2013), *Simulation and Optimization of Hybrid Diesel Power Generation System for GSM Base Station Site in Nigeria*, Departement of Electronic Engineering, University of Nigeria, Nsuka, Nigeria.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Ternate (2012), Kota Ternate dalam Angka 2012. Katalog BPS 1102001.8271, Ternate.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Ternate (2013), Kota Ternate dalam Angka 2013. Katalog BPS 1102001.8271, Ternate.
- BI (2015), BI Rate, Januari 2014 s/d Nopember 2015, www.bi.go.id. [di akses Nopember 2015].
- BI (2015a), Kurs Transaksi Bank Indonesia, 1 Juli 2015 s/d 30 Oktober 2015, www.bi.go.id. [di akses Nopember 2015].
- Chandel, M., Agrawal, G.D., Mathur, S., dan Mathur, A. (2014), “Techno – Economic Analysis of Solar Photovoltaic Power Plant for Garment Zone of Jaipur City”, Published by Elsevier Ltd, Open access under CC BY-NC-SA license, journal home page: www.elsevier.com/locate/csite., Case Studies in Thermal Engineering 2 (2014) 1–7.

- ESDM. (2013), Dukung Kebijakan Energi Nasional dengan Pemetaan Potensi Energi Baru Terbarukan, <http://www.esdm.go.id/news-archives/323-energi-baru-dan-terbarukan>, [di akses Agustus 2015].
- Fauziah, W. (2009), Sistem Pembangkit, Instalasi, Operasi dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Surya, Bayu dan Diesel PT. Len Industri, Laporan Kerja Praktek, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia, Bandung.
- Georgilakis, P.S. (2006), “State-of-the-art Of Decision Support Systems For The Choice Of Renewable Energy Sources For Energy Supply In Isolated Regions”, International Journal of Distributed Energy Resources, ISSN. 1614-7138, Vol. 2 Number 2, Pages 129-150.
- Global Environment Facility (GEF) (2013), Pelatihan Operasional dan Perawatan PLTH, 6 – 7 Desember 2013, Yogyakarta.
- Guda, H.A. dan Aliyu, U.O. (2015), “Design of a Stand-Alone Photovoltaic System for a Residence in Bauchi”, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Department of Electrical and Electronics Engineering, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi Nigeria, Vol. 5, No. 1, ISSN. 2049 – 3444.
- Haryanto, I., Utomo, T.S. dan Labib, M.N. (2009), “Pengembangan Perancangan Airfoil Sudu Turbin Angin Kecepatan Rendah Berbasis Komputasi Cerdas”, Rotasi, Vol. 11, No. 4, Universitas Diponegoro, Kampus Tembalang, Semarang.
- Irawan. (2012), Pembangkit Listrik Hybrid di Pantai Pandansimo Bantul, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Ishaq, M., Ibrahim, U.H., dan Abubakar, H. (2013), “Design Of An Off Grid Photovoltaic System: A Case Study Of Government Technical College, Wudil, Kano State”, Internasional Journal Of Scientific & Technology Research (IJSTR), Vol. 2, Issue. 12, ISSN 2277-8616.
- Kanata, S. (2015), “Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango”, Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol. 11, No.3, ISSN. 1412-4785, eISSN. 2252-620X, hal. 114-122.

- K, Balachander., S, Kuppusamy. dan Vijayakumar, P. (2012), “Comparative Study of Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell System / Hybrid Wind-Fuel Cell System for Smart Grid Distributed Generation System”, International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology, ISBN. 978-1-4673-5144-7/12/IEEE.
- Kunaifi. (2010), “Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Propinsi Riau”, *Seminar Nasional Informatika (semnasIF 2010)*, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri, UPN ”Veteran” Yogyakarta, ISSN. 1979-2328.
- Laksmhi, M.V.S., Babu, C.S. dan Prasad, S. (2012), “Design of off-grid homes with Renewable energy sources”, *Third International Conference on Sustainable Energy and Intelligent System*, Chennai and Vivekanandha College of Technology for women, Dept. of EEE, Regency Institute of Technology, India.
- Lal, D. Kumar., Dash, Bibhuti Bhusan dan Akella, A. K. (2011), “Optimization of PV/Wind/Micro-Hydro/Diesel Hybrid Power System in HOMER for the Study Area”, *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*. Vol. 3, Number 3.
- Leonics (2015), How to choose MPPT solar charge controller for PV module and battery Steps to consider for choosing MPPT solar charge controller, <http://www.leonics.com/> [di akses Oktober 2015].
- Mukhtaruddin, R. N. S. R., Rahman, H.A dan Hasan, M.Y. (2013), “Economic Analysis of Grid-Connected Hybrid Photovoltaic-Wind System in Malaysia”, Centre of Electrical Energy System, Universiti Teknologi Malaysia, ISBN. 978-1-4673-4430-2/13/IEEE.
- Musrenbang Kota Ternate (2014), Akomodir Aspirasi Publik 24 Maret 2014. <http://bappeda.kota-ternate.go.id>. [di akses Juni 2014].
- NASA (2015), Surface meteorology and Solar Energy, RETScreen Data, Latitude 0.457 / Longitude 127.411, <http://eosweb.larc.nasa.gov/>, [di akses Oktober 2015].
- Osibatteries (2015), Vision 6FM200D-X Battery 12V 200Ah Sealed Rechargeable Deep Cycle, <http://www.osibatteries.com/> [di akses Oktober 2015].

- Panel Surya Jakarta (2015), Panel Surya 300 WP Shinyoku Polycrystalline, <http://panelsuryajakarta.com/panel-surya-300-wp-shinyoku-polycrystalline/> [di akses Nopember 2015].
- PLN, (2015), Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (Tariff Adjustment) Bulan Juni 2015, www.pln.co.id. [di akses Nopember 2015]
- Purwadi, A., Haroen, Y., Zamroni, M., Heryana, N., dan Suryanto, A. (2012), “Study of Hybrid PV-Diesel Power Generation System at Sebir Island- Kepulauan Seribu”, *Conference on Power Engineering and Renewable Energy*, ISBN. 978-1-4673-2470-0/12/IEEE.
- Rauf, R. (2013), “Konsep Integrasi Pembangkit Berbasis Energi Terbarukan Sebagai Sistem Mikrogrid di Kabupaten Pesisir Selatan”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Program Studi Pasca Sarjana Teknik Elektro, Fakultas teknik Universitas Andalas, Vol. 2, No.2, ISSN. 2302-2949.
- Ross, Michael M.D. (2003), *Verification of the PVToolbox against Monitored Data, WatsunPV, HOMER, and SOMES for the Gwaii Haanas PV System*, RER Renewable Energy Research: CETC-Varennnes, www.rerinfo.ca, Montreal Quebec, Canada 2003.
- Rumbayan, M., Abudureyimu, A. dan Nagasaka, K. (2012), “Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system”, Published by Elsevier Ltd, journal home page: www.elsevier.com/locate/rser., *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 1437 - 1449.
- Sari, D.P. dan Nazir, R. (2015), “Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic Array Menggunakan HOMER (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Vol. 4, No. 1, ISSN. 2302 – 2949.
- Samuel, R. (2013), Pengembangan Energi Angin di Indonesia (Potensi, Prospek, Peluang dan Tantangan), Workshop Energi Angin , WhyPGen_BPPT – MAPIPTEK, Indonesia Wind Energy Society – IWES, May 14 2013, Jakarta.

- Seriff, F. Turcotte, D. dan Ross, M. (2003), *PV Toolbox: A Comprehensive Set of PV System Components for The MATLAB®/SIMULINK® Environment*, SESCOI 2003 Conference, www.rerinfo.ca, Queen's University Kingston, Ontario, Canada August 18 to 20, 2003.
- Sitompul, R. (2013), *Teknologi Energi Terbarukan Yang Tepat Untuk Aplikasi Untuk Masyarakat Perdesaan*, PNPM Support Facility (PSF), Manual Pelatihan, Jakarta.
- Software HOMER Application.Web : <http://nrel.gov/homer/> [di akses Januari 2014].
- Susilo, G.H., Hermawan., dan Winardi, B. (2014), “Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Diesel dan Energi Terbarukan di Pulau Enggano, Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak HOMER”, *TRANSIENT*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang, Vol. 3, No. 2, ISSN. 2302-9927, 238.
- Tanoto, Y. (2010), “Analisa Optimasi Modular Distributed Generation Untuk Beban Listrik Terisolasi”, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra, ISBN. 978 – 979 – 96964 – 7 – 2.
- Thaib, R. dan Umar, H. (2014), “Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) di Kepulauan Simeulue Aceh”, *Proceedings Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti KE16 – 1, SNTMUT*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, ISBN: 978-602-70012-0-6.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Ternate, Maluku Utara pada tanggal 5 Desember 1976 dari ayah bernama Hasan Kahar dan ibu bernama Djaleha M Nur. Penulis merupakan anak ke-3 dari lima bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Fakati Nyinga RT.12/RW.05 Kelurahan Soa, Kecamatan Kota Ternate Utara, Kota Ternate, Maluku Utara, (97725). Pada tahun 1988, penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN Kayumerah 2 Kota Ternate. Tahun 1991 menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 3 Ternate. Tahun 1995 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMA Islam Ternate. Pada tahun 1999 masuk perguruan tinggi dan tahun 2003 dapat menyelesaikan gelar Sarjana Pendidikan Fisika di Jurusan Pendidikan MIPA Universitas Khairun Ternate.

Dan pada tahun 2016 ini, penulis telah menyelesaikan gelar Magister di Bidang Keahlian Rekayasa Energi Tebarukan Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email bahrudkahar@gmail.com.